

Risto Lindström

SÄKITYSKONEIDEN KÄYTETTÄ- VYYDEN ANALYSOINTI

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Marraskuu 2019

TIIVISTELMÄ

Risto Lindström: Säkityskoneiden käytettävyyden analysointi
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2019

Käytettävyys on yksi tavoitteiden toteutumista mittaavista tunnusluvuista, joka kuvaa kohteen kykyä olla tilassa, jossa se tarvittaessa kykenee suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Tässä työssä käsitellään kahden Yara Suomen Uudenkaupungin tehtailla sijaitsevan automaattisen suursäkityskoneen vikaantumista ja toimintaongelmia sekä näiden vaikutusta koneiden käytettävyyteen. Tutkimuksen tavoite on selvittää säkityskoneiden käytettävyyttä alentavat tekijät, niiden aiheuttajat sekä tutkia ratkaisuja käytettävyyden parantamiseksi. Tavoitteena on lisäksi selvittää, mitä asioita koneista tulee mitata ja mitä tietoja kerätä, jotta analysointi on jatkossa helpompaa ja luotettavampaa sekä tarkastella vikojen aiheuttamia kustannuksia.

Tutkimuksessa käytetty data koneiden toiminnasta ja vikaantumisesta on pääasiassa peräisin kahdesta eri tietokannasta. Toiminnanohjausjärjestelmän vikahistoriaa on käytetty kunnossapitoa vaativien vikojen sekä niistä aiheutuvien kustannusten selvittämiseen. Koneiden häiriöilmoitus-historian avulla on selvitetty lyhyitä tuotantokatkoksia aiheuttavat toimintaongelmat. Järjestelmien datan ollessa osittain erittäin heikkolaatuista, on dataa täydennetty syvähaastattelujen avulla. Haastattelujen avulla on myös tunnistettu aiemmilla toimenpiteillä hallintaan saadut ongelmat sekä määritetty kunkin toistuvan vian ja häiriön aiheuttama seisokkiaika. Seisokkiaikojen ja käyntiaikatietojen perusteella on määritetty kunkin toistuvan vian ja häiriön aiheuttama epäkäytettävyys, jota puolestaan on käytetty mittarina toistuvien vikojen ja häiriöiden seurausten vakavuuden vertailussa. Käytettävyysvaikutusten perusteella tiedetään, mihin ongelmiin tulee kohdistaa voimavaroja ja millaisia parannuksia niiden ratkaisemisella on mahdollista saavuttaa. Koko koneiden tarkan käytettävyyden määrittämiseksi lähtötiedoissa on epävarmuustekijöitä, mutta häiriöt ja raportoidut viat alentavat käytettävyyttä n. 15 %.

Osaa laitteistosta tarkastellaan yksityiskohtaisesti RCM-analyysin avulla ja muu laitteisto käsitellään kevyemmin. RCM-analyysissä käytettyjä analysointimenetelmiä ovat vika- ja vaikutusanalyysi sekä vikapuuanalyysi. RCM-analyysin tuloksena on tunnistettu muun muassa tehokkaat kunnossapitomenetelmät, modifiointitarpeet, varautumistarpeet vikatilanteisiin sekä jatkotutkimuskohteet. Työn tuloksena havaittiin myös kehitystarpeita ohjeistuksessa, datan keräyksessä, suorituskyvyn mittauksessa ja säkin laadussa. Häiriöhistorian perustella toimintahäiriöitä tulee niin paljon, että operaattorien jatkuva läsnäolo on pakollista.

Työtä voidaan pitää onnistuneena ja hyödyllisenä. Tuloksia voidaan hyödyntää muilla yrityksen toimipaikoilla, joissa vastaavia suursäkityslaitteistoja on käytössä tai sellaisen hankkimista suunnitellaan. Työn menetelmät soveltuvat myös muiden yrityksen laitteistojen toiminnan ja vikaantumisen tutkimiseen sekä käytettävyyden, kunnossapitomenetelmien ja muiden kehityskoh-teiden määrittämiseen.

Avainsanat: kunnossapito, luotettavuuskeskeinen kunnossapito, RCM, käytettävyys, vika- ja vaikutusanalyysi, VVA, vikapuuanalyysi, VPA, säkityskone.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Risto Lindström: Availability analysis of bagging machines
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
November 2019

Availability is one of the performance factors to measure achieving goals and it describes the ability of an object to be in a state to perform required function. This thesis is about failures and malfunctions and their effects to an availability of two automatic big bag machines located in Yara Finland's site in Uusikaupunki. The aim of this study is to determine the factors decreasing availability, their cause and propose solutions to increase availability. Also an aim to this study is, what to measure and which data to collect. This is done to ease further analysis and make machines more reliable. It would also allow more focused costs analysis in the future.

Functioning and failure data of the machines is mainly from two different databases. The failure history from ERP is used to research the failures, which required maintenance personnel's attention and creates costs. Malfunction history of the machines is used to determine malfunctions that cause short production stops. Due to the partially very low-quality data it has been accompanied with in-depth interviews. The interviews also provided information on previous technical actions. Interviews were also used to determine the downtime caused by each frequent failure and malfunction. Based on determined downtimes and uptimes, the unavailability caused by each frequent failure and malfunction were evaluated. Unavailability is used as a measure to compare the consequences of each frequent failure and malfunction. Based on availability-effect it is known, which problems to focus on and what level of improvements can be achieved. To evaluate the exact availability of the entire machine there are many uncertainty factors, but it is estimated that malfunctions and reported failures decrease it by 15 %.

Selected part of the system is studied in detail with RCM analysis. The other part of the machine is studied on a general level. In the RCM process failure tree analysis and failure mode and effect analysis are used as methods of analysis. As a result of RCM analysis, it was recognized for instance effective maintenance actions, modification requirements, default actions and follow-up research subjects. Development potential was also identified in instructions, data collecting, performance measuring and bag quality. Based on malfunction history, the frequency of malfunctions is so high that continually presence of an operator is mandatory.

The study can be considered successful and helpful. The results can be utilized in company's other sites, where similar bagging machines are operated or are being considered to invest on. The methods also apply to research functioning and failures of other equipment and can be used to define their availability figures, maintenance methods and other development targets.

Keywords: maintenance, reliability centered maintenance, RCM, availability, failure mode and effect analysis, FMEA, failure tree analysis, FTA, bagging machine.

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä suursäkityskoneita käsittelevä diplomityö on tehty Yara Suomen Uudenkaupungin tehtaiden materiaaliosastolla vuoden 2019 aikana. Olen ollut yrityksen kunnossapito-organisaatiossa kesätöissä työsuunnittelijana kolmena vuonna, joista vuonna 2018 olin materiaaliosastolla. Vaikka ympäristö, ihmiset ja toimintatavat ovatkin olleet entuudestaan tuttuja, on päättötyön tekeminen ollut haastavaa ja toisaalta myös erittäin opettavaista. Työn aihe on laajentunut suunnitellusta, mutta lopputulos on odotuksiani syvällisempi ja kokonaisuudessaan parempi. Uskon työn olevan jatkon kannalta hyödyllinen niin toimeksiantajalleen kuin tekijälleenkin.

Kiitokset haluan esittää kaikille niille kymmenille Yaran työntekijöille, jotka ovat vastanneet lukemattomiin kysymyksiin työn eri vaiheissa sekä erityisesti työn ohjaajalle, Mikko Kiviluomalle kiinnostuksesta työtäni kohtaan. Kiitokset kuuluvat myös laitteiston toiminnan ymmärtämisessä auttaneille Erkomatin asiantuntijoille sekä tämän työn tarkastajille, erityisesti Jouko Laitiselle, jonka luennoilla olen oppinut paljon kunnossapidosta, ja joka on ohjannut eteenpäin ongelmatilanteissa.

Uudessakaupungissa, 29.11.2019

Risto Lindström

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuskysymykset	1
1.2 Kohdeyrityksen esittely	1
1.3 Suursäkityksen toimintaympäristö	2
1.4 Käytettävissä olevat tietokannat	3
2. KUNNOSSAPITO, KÄYTETTÄVYYS JA LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOSSAPITO	5
2.1 Yleistä kunnossapidosta	5
2.2 Vikaantumismallien esittely	8
2.3 Käytettävyys suorituskyvyn mittarina	12
2.4 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito	13
2.5 Vikapuuanalyysi analysointimenetelmänä	14
2.6 Vika- ja vaikutusanalyysi analysointimenetelmänä	16
2.7 RCM-päätöslomake ja -päättöskaavio	19
3. TUTKITTAVAN LAITTEISTON ESITTELY	21
3.1 Säkityslinjan suorituskyyvaatimukset	21
3.2 Säkityslinjan toimintakuvaus lyhyesti	23
3.3 Suursäkkien ominaisuudet	24
3.4 Tutkittavan laitteiston toimintakuvaus	25
4. KÄYTETTÄVYYSVAIKUTUSTEN MÄÄRITTÄMINEN VIKA- JA HÄIRIÖHISTORIAN AVULLA	42
4.1 Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen	43
4.2 Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen	46
4.3 Haastattelujen kuvaus	49
5. LAITTEISTON VIKAANTUMINEN, ANALYYSI JA TOIMENPIDE- EHDOTUKSET	50
5.1 Rullatuki	52
5.2 Nauhakelain	53
5.3 Kuljetin	54
5.4 Säkin avauskoneisto	58
5.5 Asetinlaite	62
5.6 Säkin oikaisin	68
5.7 Puhallus, imu, pölynpoisto	69
5.8 Piippu	72
5.9 Säkin pitimet	73

5.10	Viikkari.....	75
5.11	Nippi	77
5.12	Suljenta	78
5.13	Koukku	80
5.14	Pukkari	83
5.15	Hihnakuuljettimet.....	84
5.16	Leimauslaite	87
5.17	Hydrauliikkayksikkö	90
5.18	Taajuusmuuttajat.....	92
5.19	Vaaka	93
5.20	Näytteenotin	94
5.21	Yleiset viat	95
6.	ANALYYSIN TULOKSET JA PÄÄTELMÄT	97
6.1	Toiminnanohjausjärjestelmän data.....	97
6.2	Koneiden häiriöilmoitushistorian data.....	98
6.3	Päätelmät säkityskoneiden vioista	100
6.4	Päätelmät vikojen kustannuksista	101
6.5	Päätelmät säkityskoneiden häiriöistä	104
6.6	Yhteenveto parannusehdotuksista ja jatkotutkimusehdotuksista	106
7.	YHTEENVETO	110
	LÄHTEET	112
	LIITTEET	114

LIITE 1: VIKAPUUANALYYSI SÄKITYSKONEISTA ST731 JA ST752

LIITE 2: VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI SÄKITYSKONEISTA ST731 JA ST752

LIITE 3: RCM-PÄÄTÖSLOMAKE SÄKITYSKONEISTA ST731 JA ST752

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Kohteen kriittisyyden ja arvon vaikutus kunnossapitomenetelmien valintaan (perustuu lähteeseen Järviö et al. 2007, s. 86).....</i>	6
Kuva 2.	<i>Kunnossapitolajien jaottelu Yaran oman kunnossapitostandardin mukaan (perustuu lähteeseen Yara TOPS 2-01).....</i>	7
Kuva 3.	<i>Perinteinen käsitys laitteen eliniän ja vikaantumistodennäköisyyden välisestä riippuvuudesta. Kylpyammekäyränmuotoinen vikaantumismalli (Järviö & Lehtiö 2017, s. 80).</i>	9
Kuva 4.	<i>Kuusi erilaista vikaantumismallia. (Perustuu lähteisiin Moubray 1997, s. 235; Abid et al. 2014)</i>	10
Kuva 5.	<i>Kunkin vikaantumismallin esiintyminen viiden eri tutkimuksen perusteella (perustuu lähteisiin Nowlan & Heap 1978, s. 45–48; Moubray 1997, s. 56; Allen 2001; Wiseman 2011; Mc Leod et al. 2015).</i>	11
Kuva 6.	<i>Esimerkki yksinkertaistetusta vikapuusta, jonka avulla tarkastellaan erään tapaturman syitä (perustuu lähteeseen Kivistö-Rahnasto & Vuori 2000, s. 21).</i>	15
Kuva 7.	<i>Osa RCM-informaatiolomakkeelle tehdystä VVA-analyysistä.....</i>	18
Kuva 8.	<i>Kunnossapitotoimien valitsemisvaiheessa käytettävä RCM-päätöskaavio (Moubray 1997, s. 200–201).....</i>	20
Kuva 9.	<i>Säkityslinjan yleiskuva ja säkitysprosessin virtaus (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	23
Kuva 10.	<i>Noutorullaimen sijainti säkityslinjassa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).....</i>	25
Kuva 11.	<i>Rullatukien ja lukitusmekanismin sijainti noutorullaimessa. Kuvassa rullatukien päällä on tyhjä säkkirulla-akseli (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	26
Kuva 12.	<i>Nauhakelain tyhjiällä nauhakeloilla (Erkomat 2014).....</i>	27
Kuva 13.	<i>Säkkien aukirullaus noutorullaimella säkityslinjan alussa. Kuljetin sijaitsee aukirullattavan säkkirullan alla.....</i>	27
Kuva 14.	<i>Vasemmalla avauskoneisto valmiina avaamaan säkin ja oikealla avauskoneiston onnistuneesti avaama säkki (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).....</i>	29
Kuva 15.	<i>Asetinlaite valmiina noutamaan uutta säkkiä avauspöydältä (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	29
Kuva 16.	<i>Portit sijaitsevat piipun alla ja ovat kuvassa auki-asennossa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	30
Kuva 17.	<i>Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteisto sijaitsee vaa'an kanssa muuta laitteistoa korkeammalla (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	31
Kuva 18.	<i>Täyttöpää koostuu piipusta, säkin pitimistä ja viikkarista (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	32
Kuva 19.	<i>Kuva tilanteesta, jossa asetinlaite on vienyt säkin piipun alle ja pitää siitä kiinni. Piippu on laskeutumassa säkin sisään, viikkari on kiinni piipussa ja puolikaaren muotoiset säkin pitimet ovat auki.....</i>	33
Kuva 20.	<i>Viikkarin puikkomaiset teräkset levittävät säkin suun rypyttömäksi (Erkomat 2014).....</i>	34
Kuva 21.	<i>Suljentakoneiston sijainti säkityslinjassa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).....</i>	35
Kuva 22.	<i>Suljentakoneisto koostuu suljennasta ja nipistä. Nippi tuo säkin suun piipulta aukinaisten saumausleukojen väliin (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	36

Kuva 23.	<i>Kuva tilanteesta, jossa nippi on tuonut säkin suun saumausleukojen väliin ja suljentavarsi on menossa kiinni.....</i>	<i>37</i>
Kuva 24.	<i>Nosto- ja kääntöyksikön sijainti säkityslinjassa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	<i>38</i>
Kuva 25.	<i>Nosto- ja kääntöyksikkö tilanteessa, jossa kuviteltu säkki on nostettu ylös ja pukkari on valmiina työntämään sisäsäkin suun ulkosäkin sisään (Erkomat 2014).</i>	<i>39</i>
Kuva 26.	<i>Kuva tilanteesta, jossa säkki on juuri saapunut leimauslaitteelle ja jatkaa matkaansa hihnakuljettimella leimauslaitteen kiertyessä säkin ympäri.</i>	<i>40</i>
Kuva 27.	<i>Vaaka sijaitsee puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteiston kanssa muuta laitteistoa korkeammalla (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).</i>	<i>41</i>
Kuva 28.	<i>Suositus toiminnanohjausjärjestelmän toimintapaikkojen uudelleenjaottelusta.</i>	<i>98</i>
Kuva 29.	<i>Pylväsdiagrammi vikojen jakautumisesta alijärjestelmittäin.</i>	<i>101</i>
Kuva 30.	<i>Vioista aiheutuneiden kustannusten jaottelu alijärjestelmittäin.</i>	<i>102</i>
Kuva 31.	<i>Säkityskoneiden vuosittaiset kustannukset. Sinisellä kaikkien vikailmoitusten kustannukset ja punaisella säkityskoneen vikojen kustannukset.</i>	<i>103</i>
Kuva 32.	<i>Häiriötiheyden kertymäfunktio kuvaa koneen toimintavarmuutta. Kuvaajan perusteella säkityskoneeseen tulee todella usein tuotannon pysähdyksen aiheuttava häiriö.</i>	<i>105</i>

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen.....	45
Taulukko 2.	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen.....	48
Taulukko 3.	Yhteenveto rullatukien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	52
Taulukko 4.	Yhteenveto nauhakelaimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	54
Taulukko 5.	Yhteenveto kuljettimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	55
Taulukko 6.	Yhteenveto säkin avauskoneistojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	59
Taulukko 7.	Yhteenveto asetinlaitteiden vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	62
Taulukko 8.	Yhteenveto säkin oikaisimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	68
Taulukko 9.	Yhteenveto puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	69
Taulukko 10.	Yhteenveto piippujen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	72
Taulukko 11.	Yhteenveto säkin pitimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	73
Taulukko 12.	Yhteenveto viikkarien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	76
Taulukko 13.	Yhteenveto nippien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	77
Taulukko 14.	Yhteenveto suljentojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	78
Taulukko 15.	Yhteenveto koukkujen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	81
Taulukko 16.	Yhteenveto pukkarien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	84
Taulukko 17.	Yhteenveto hihnakuljettimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	85
Taulukko 18.	Yhteenveto leimauslaitteiden vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	88
Taulukko 19.	Yhteenveto hydraulikkayksiköiden vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	90
Taulukko 20.	Yhteenveto taajuusmuuttajien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	92
Taulukko 21.	Yhteenveto vaakojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	93
Taulukko 22.	Yhteenveto näytteenottimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	94
Taulukko 23.	Yhteenveto yleisten vikojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.....	95
Taulukko 24.	Säkityskoneen vikailmoitukset ja vikojen osuus kaikista vikailmoituksista koko koneiden eliniän aikana.....	100

LYHENTEET JA MERKINNÄT

FMEA	engl. Failure Mode and Effect Analysis (suom. VVA)
FTA	engl. Failure Tree Analysis / Fault Tree Analysis (suom. VPA)
JHA	jälleenhankinta-arvo
KNL	tuotannon kokonaistehokkuus (engl. OEE)
MTTR	engl. Mean Time To Repair
OEE	engl. Overall Equipment Efficiency (suom. KNL)
PSK	PSK Standardisointiyhdistys
RCM	engl. Reliability Centered Maintenance (suom. luotettavuuskeskeinen kunnossapito)
RTF	engl. Run To Failure, ajaa vikaantumiseen asti
SFS	Suomen Standardisimisliitto
TOPS	Technical Operating Standard, Yaran oma standardi
VPA	vikapuuanalyysi (engl. FTA)
VVA	vika- ja vaikutusanalyysi (engl. FMEA)
K	käytettävyys
L	laatukerroin
N	nopeuskerroin

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuskysymykset

Tämän työn tutkimuksen kohteena on selvittää säkityskoneiden käytettävyyttä alentavat tekijät, sekä tutkia ratkaisuja käytettävyyden parantamiseksi. Eniten käytettävyyttä alentavat alijärjestelmät selvitetään, ja määritetään toistuvien vikojen ja toimintahäiriöiden vaikutus käytettävyyteen. Työssä tutkitaan, mistä toistuvat viat ja häiriöt aiheutuvat sekä millä kunnossapitomenetelmillä tai muilla toimenpiteillä niiden haittoja voidaan vähentää ja käytettävyyttä parantaa. Tutkimuksen aiheena on myös selvittää, mitä asioita on tarpeen mitata ja mitä tietoja koneista on tarpeen kerätä, jotta suorituskyvyn määrittäminen ja vikaantumisen analysointi on jatkossa nykyistä luotettavampaa ja helpompaa. Kunnossapitokustannuksista selvitetään, miten ne ovat jakautuneet alijärjestelmittäin, mikä on vioista aiheutuneiden kustannusten osuus sekä miten kustannukset ovat kehittyneet ajan myötä.

1.2 Kohdeyrityksen esittely

Yara Suomi Oy on Yara International ASAn tytäryhtiö. Yara International ASA on maailmanlaajuinen konserni, jonka päätuotteita ovat kivennäislannoitteet, teollisuuskemikaalit ja ympäristönsuojelutuotteet. Yhtiö perustettiin vuonna 1905 nimellä Norsk Hydro. Nykyään sillä on toimintaa yli 60 maassa työllistäen yhteensä noin 17 000 henkilöä. Oslon pörssiin listatun yrityksen pääkonttori sijaitsee Norjan pääkaupungissa Oslolla ja toimitusjohtajana toimii Svein Tore Holsether. (Yara International 2019.) Konsernin liikevaihto on viimeisen viiden vuoden aikana pysynyt noin 100 miljardin Norjan kruunun eli noin 10 miljardin euron tuntumassa. (Markets Insider 2019.) Yara International ASAn suurin omistaja on Norjan valtion 36,2 %:n osuudella. (Yara International 2019.)

Vuonna 2007 Yara International ASA hankki omistukseensa suomalaisen Kemira GrowHow:n, yhden Euroopan johtavista lannoite- ja rehufosfaattivalmistajista (Reuters 2010). Kaupan myötä yhtiön nimi muuttui Yara Suomi Oy:ksi ja siitä tuli Yara International ASAn tytäryhtiö. Yara Suomi Oy käsittää Yaran toiminnot Suomessa. Yhtiöllä on Suomessa kolme tuotantolaitosta. Ne sijaitsevat Uudessakaupungissa, Siilinjärvellä ja Kokkolassa. Siilinjärven tuotantolaitoksen yhteydessä on myös fosfaattikaivos, joka on

Suomen suurin avolouhos. Suomessa Yaralla on noin 900 omaa työntekijää kokonaistyöllisyysvaikutuksen ollessa noin 4000 henkeä. (Yara Suomi 2019). Yara Suomi Oy:n toimintojen liikevaihto on viime vuosien aikana ollut keskimäärin reilut 700 miljoonaa euroa (Kauppalehti 2019). Kemira GrowHow:n hankinnan jälkeen Yara on investoinut Suomeen yhteensä 960 miljoonaa euroa vuosien 2008–2018 välillä.

Yaran Uudenkaupungin tehtaat on perustettu vuonna 1965 nimellä Rikkihappo Oy. Tällä hetkellä toimipaikalla tuotetaan yli 80 erilaista korkealaatuista NPK-lannoitetta, ja se on Yaran toiseksi suurin NPK-lannoitteita valmistava yksikkö. (Yara Suomi 2019.) Uudenkaupungin toimipaikalla on voimalaitos sekä neljä tuotantolaitosta, joista kaksi on typpihappotehtaita ja kaksi lannoitetehtaita. Lisäksi valmistetaan pieniä määriä muita kemikaaleja. Tehtailla on vakituisesti noin 240 työntekijää. Tehtaet tuottavat vuodessa noin 1300 kilotonnia lannoitetta ja 500 kilotonnia typpihappoa. Lannoitteesta noin 85 % menee vientiin ja loput kotimaan tarpeisiin. Uudenkaupungin tehtailla on erinomainen logistiikka, sillä tehtaalle johtaa oma syväväylä sekä rautatie tehdasalueen sisälle. (Yara Suomi 2019). Lannoitetuotannosta noin 70 % lastataan irtotavarana laivaan ja noin 25 % säkitetään suursäkkeihin. Loput noin 5 % pakataan muilla tavoin.

1.3 Suursäkityksen toimintaympäristö

Tässä työssä käsiteltävät kaksi automaattista suursäkityslinjaa sijaitsevat Uudenkaupungin tehtaiden materiaaliosastolla. Materiaaliosasto käsittelee kaikki tehtaalle tulevat ja tehtaalta lähtevät raaka-aineet ja valmiit tuotteet. Valmiit tuotteet voidaan kuljettaa asiakkaalle joko irtotavarana laivoilla ja konteissa tai suursäkeissä kuorma-autoilla, junilla, konteissa ja satunnaisesti myös laivoilla. Lannoite on myös mahdollista pakata pienempiin, muutamien kymmenien kilojen säkkeihin. Suursäkitysasemilla lannoite pakataan 600–1200 kilon suursäkkeihin. Säkit valmistetaan joko varastoon odottamaan kuljetusta, tai ne lastataan suoraan säkityskoneelta junavaunuihin tai kuorma-autojen kyytiin.

Vuosittaisesta noin 1 300 kilotonnin lannoitetuotannosta noin 25 % eli noin 300 kilotonnia pakataan suursäkkeihin. Tämä tarkoittaa, että yhden koneen vuotuinen säkitystarve on noin 150 kilotonnia. Säkitettäviä tuotteita eli eri lannoitelajikkeita on noin 80 erilaista. Valtaosa säkitystä tuotteesta myydään kotimaahan. ST731-säkityskoneella on säkitetty kokonaisuudessaan 15.2.2019 mennessä 654 kilotonnia ja ST752:lla 550 kilotonnia lannoitetta.

Säkityskoneilla on kolme pääkäyttäjää, jotka tuntevat koneet parhaiten, mutta säkitystä tekee käytännössä lähes kaikki materiaaliosaston 36 operaattoria. Joillakin operaatto-

reilla saattaa olla työvuoroista ja säkitystarpeesta riippuen kuukausien tauko säkityksestä. Materiaaliosastolla on operaattoreita töissä vuoden jokaisena päivänä kellon ympäri ja säkitystä voi olla minä päivänä ja kellonaikana tahansa. Materiaaliosaston työajohto toimii päivävuorossa.

Materiaaliosaston kunnossapito koostuu kunnossapitokoordinaattorista, projektikoordinaattorista, sähköautomaatiotyönsuunnittelijasta, neljästä kunnossapitoasentajasta ja kahdesta sähköautomaatioasentajasta. Kunnossapito työskentelee päivävuorossa maanantaista perjantaihin. Vapapäivinä koko tehtailla on yksi mekaaninen kunnossapitoasentaja päivystysvalmiudessa puhelinsoiton päässä. Päivystäjä voi olla kuka tahansa noin 30 päivystäjistä, joten usein päivystäjänä toimii henkilö, joka ei juuri tunne säkityskoneita entuudestaan, eikä asiantuntevaa henkilöä saada aina nopeasti paikalle.

1.4 Käytettävissä olevat tietokannat

Tutkimuksessa käytetty data on peräisin yrityksen tietokantoihin kerätyistä käynti- ja vikatiedoista. Käyntitietoja on kerätty GrowIT-nimiseen tilaustenhallintajärjestelmään ja Siemens PCS7 -nimiseen automaatiojärjestelmään. Tilaustenhallintajärjestelmästä saatavia tärkeitä tietoja on säkityserän lajike, säkitysmäärä, säkityksen kesto sekä säkin koko. Tilaustenhallintajärjestelmän tiedot ovat saatavilla säkityskoneiden käyttöönotosta alkaen. Tiedot kirjautuvat järjestelmään automaattisesti työmääräimen kautta, mutta jos työmääräintä ei ole tehty, ovat tiedot puutteellisia. Automaatiojärjestelmässä on tiedot jokaisen säkin valmistumisajasta sekä tuotantotehosta tunneittain. Automaatiojärjestelmän data on kuitenkin käyttökeltontonta, sillä yhteyskatkosten vuoksi dataa on jäänyt merkittävästi tallentumatta. Vikatiedot puolestaan ovat peräisin SAP-toiminnanohjausjärjestelmään tehdyistä vikailmoituksista sekä säkityskoneiden omaan vikamuistiin tallentuvasta häiriöilmoitushistoriasta. Toiminnanohjausjärjestelmässä olevat tiedot ovat käsin syötettyjä ja pääosin vioista, jotka vaativat kunnossapidollisia toimenpiteitä. Jos tiedot ovat oikein ja kattavasti syötetty, toiminnanohjausjärjestelmästä näkee muun muassa vian kuvauksen, vioittuneen kohteen, kunnossapitokustannukset sekä käytetyt työtunnit ja varaosat. Todellisuudessa tiedoissa on paljon puutteita ja virheitä. Toiminnanohjausjärjestelmässä on dataa käytettävissä koneiden käyttöönotosta alkaen. Koneiden omaan häiriöhistoriaan tallentuu kaikki koneen automaattisesti antamat hälytykset. Hälytyshistoriasta on mahdollista selvittää kunkin häiriön esiintymistajuus, ajankohta sekä säkityksen keskeyttävien häiriöiden määrä. Hälytyshistoriasta voi myös tietyin varauksin päätellä, milloin säkityskone on ollut toiminnassa. Hälytyshistoria jostain syystä nollautuu ajoittain, jonka vuoksi dataa on käytettävissä vain toisesta koneesta 102 päivän ajalta.

Vika- ja käyntitietojen lisäksi on hyödynnetty WiLab LIMS -nimistä analyysitietokantaa, josta näkee säkitettävästä tuotteesta tehdyn laboratorioanalyysin tiedot. Eräs kiinnostava tieto on tuotteen tilavuuspaino ja tilavuuspainon vaihtelut saman lajikkeen ja jopa saman säkityserän aikana. Eri tietokantojen dataa on myös yhdistelty, sekä verrattu niitä keskenään tietojen paikkaansa pitävyiden varmistamiseksi. Usein järjestelmien tiedoissa on puutteita, joita on paikattu Yaran henkilökuntaa ja laitevalmistajaa haastatteleamalla. Varsinkin vioista on paljon hiljaista, kirjaamatonta tietoa, joiden selvittämiseksi on tarvittu käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön haastatteluita. Haastattelut on toteutettu vapaamuotoisesti keskustellen tai sähköpostin välityksellä. Haastattelut on kuvattu tarkemmin aliluvussa 4.3.

Toiminnanohjausjärjestelmän vikahistorian ja kunnossapitohenkilöstön avulla on selvitetty yleisimmät viat ja niiden määrä. Niitä vikoja ei ole huomioitu, jotka ovat olleet yleisiä, mutta on aiemmillä toimenpiteillä saatu vähennettyä hyväksyttävälle tasolle tai poistettua kokonaan. Käytettävyysvaikutuksen määrittämiseksi vaadittavista tiedoista on tilaustenhallintajärjestelmästä saatu käyntiaikatiedot ja kunnossapitohenkilöstöltä arviot kunkin vian aiheuttamien tuotantokatkosten keskimääräisestä kestosta. Näiden tietojen perusteella on laskettu yleisimpien toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen vikojen vaikutus käytettävyYTEEN.

Koneen häiriöilmoitushistoriasta on selvitetty yleisimmät tuotantoon vaikuttavat häiriöt ja niiden määrä. Operaattorien arvioiden avulla on määritetty kunkin häiriön aiheuttaman tuotantokatkoksen kesto. Häiriöilmoitushistoriasta on määritetty myös tarkastelujakson käyntiaikatiedot. Näiden tietojen perusteella on laskettu koneen pysäyttävien häiriöiden keskimääräinen vaikutus käytettävyYTEEN.

2. KUNNOSSAPITO, KÄYTETTÄVYYS JA LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOSSAPITO

2.1 Yleistä kunnossapidosta

Standardi PSK 6201:2011 (s. 2) määrittelee kunnossapidon seuraavasti: "Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana."

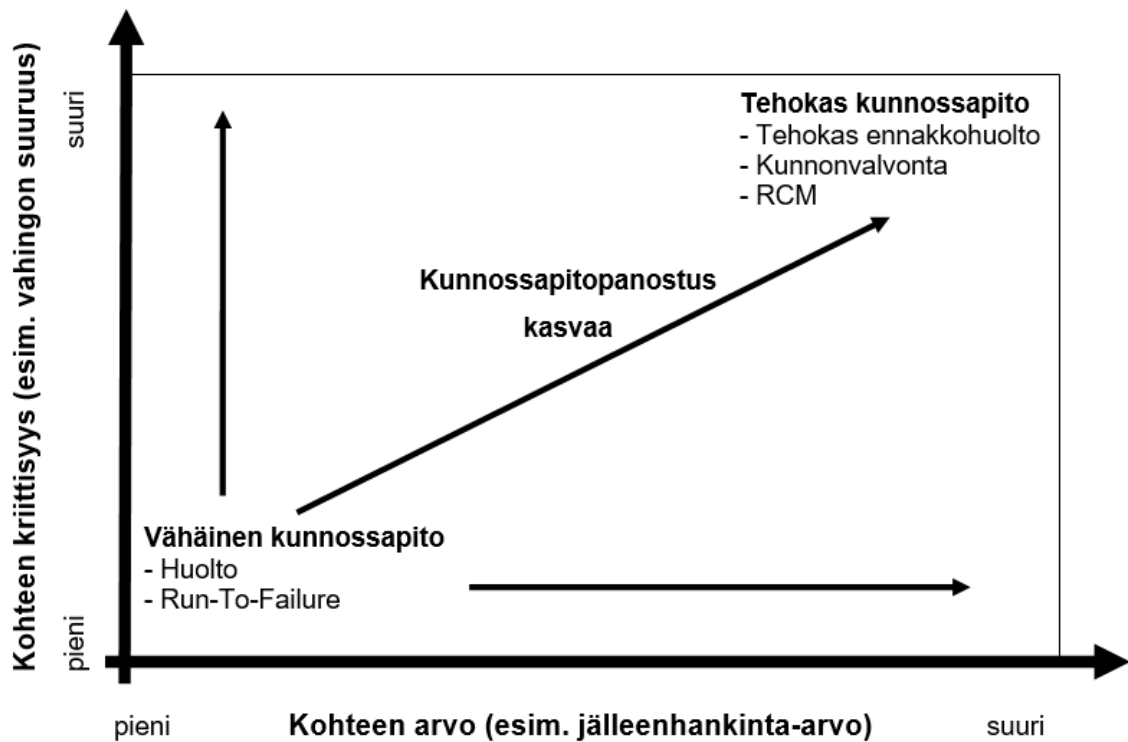
Standardi SFS-EN 13306:2010 (s. 8) määrittelee kunnossapidon seuraavasti: "Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon." Huomautuksena on mainittu parantamisen ja modifikaation määritelmät. Uusimmassa standardissa SFS-EN 13306:2017 (s. 8) on kunnossapidon määritelmässä mainittu lisäksi huomautuksena, että kunnossapitotoimenpiteet sisältävät myös kohteen tilan tarkkailua ja analysointia sekä tehollista kunnossapitoa (engl. *active maintenance*), kuten korjaukset ja kunnostukset.

Järviö ja Lehtiö (2017, s. 48) pitävät kunnossapitostandardeja vanhentuneina ja liikaa vikaantumiseen ja korjaavaan kunnossapitoon keskittyvinä. Standardit eivät esimerkiksi tunne käsitettä Run To Failure (RTF). RTF tarkoittaa, ettei tällaiselle kohteelle sovelleta ehkäiseviä kunnossapitomenetelmiä normaalien huoltojen lisäksi. Sen sijaan se ajetaan vikaan ja joko korjataan tai korvataan, kun se ei enää kykene suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Oikein halvat ja helposti vaihdettavissa olevat kohteet, joiden vikaantumisella ei juuri ole vaikutusta tuotantoon, kannattaa yksinkertaisesti ajaa loppuun ilman huoltoja ja korjauksia ja vaihtaa ne sitten uusiin. Tehdastiloja valaisevat lamput ovat esimerkiksi tällaisia kohteita. Järviön ja Lehtiön mukaan (2017, s. 48) standardit eivät myöskään käsittele modernisaatioita, eivätkä kunnossapitoon liittyvää analysointia, esimerkiksi vika historian tai vikaantumismekanismien tutkimista.

Kunnossapidon määritelmä on standardeissa liian suppea. Nykyaikainen kunnossapito on osa tuotanto-omaisuuden hallintaa eli tuottokyvyn ylläpitämistä, johon sisältyy laitteiston säätämistä ja kehittämistä. Kunnossapitoon sisältyvät kaikki ne tehtävät, joilla varmistetaan, että hankittu tuotanto-omaisuus kykenee suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Vaadittu toiminto on usein sitä, mitä varten jokin kone on yritykseen alun perin han-

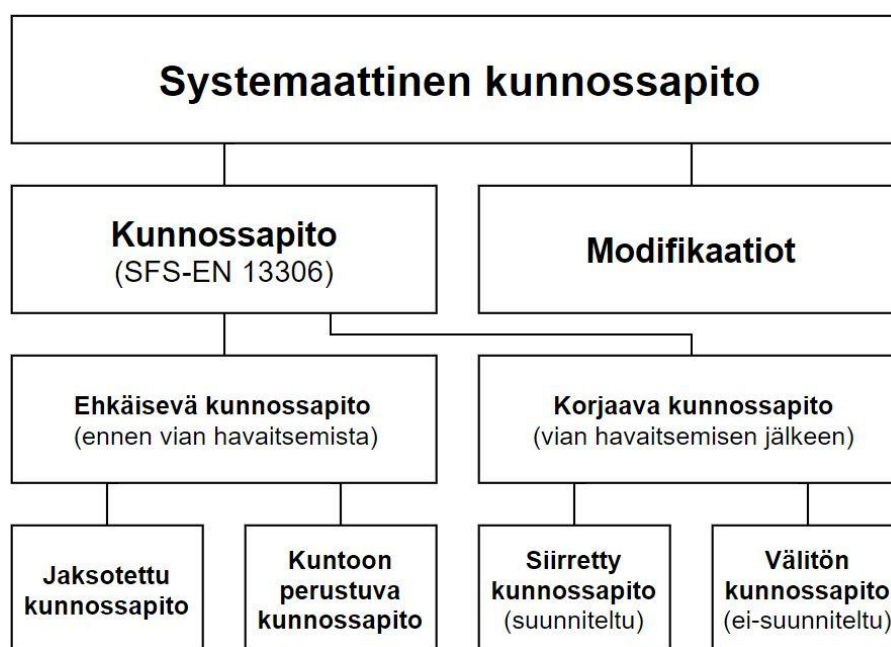
kittu. Kunnossapitoon kuuluvat siis myös käyttöturvallisuus, laaduntuottokyky, modernisointi, suunnitteluvirheiden korjaaminen, käyttö- ja kunnossapitotaitojen kehittäminen sekä kerätyn tiedon analysointi. (Järviö & Lehtiö 2017, s. 19.)

Teollisuuden tuotantolaitteista noin 10 % on niin kriittisiä ja/tai arvokkaita, että niiden kunnossapitomenetelmät on perusteltua määrittää RCM-prosessin (esiteltä aliluvussa 2.5) avulla. Menetelmä on liian kallis ja hidas useimmille teollisuuden laitteille. Kuitenkin erityisen vaativissa ympäristöissä, kuten lentoteollisuudessa, ydinvoimaloissa ja öljynporauslautoilla sitä käytetään ainoana työkaluna. Noin 30 prosentissa tuotantolaitteista kannattaa käyttää kevennettyä RCM-prosessia, joka on alkuperäistä RCM:ää halvempi ja nopeampi menetelmä antaen kuitenkin riittävän hyvän lopputuloksen. Lopuille, ei-niin-kriittisille ja/tai -arvokkaille laitteille riittää yleensä, että laaditaan toimintaohjeet vikaantumisen varalle. Kohteeseen sovellettavien kunnossapitomenetelmien valinta on kuitenkin aina tapauskohtaista. Yleisesti ottaen kohteen arvon ja kriittisyyden ollessa pieniä, kannattaa kunnossapitoa toteuttaa kevyin ottein. Arvon ja kriittisyyden kasvaessa usein myös kunnossapitopanostusta kannattaa lisätä. Tällaisesta koneesta kannattaa pitää hyvää huolta, sillä vaurioista aiheutuvat kustannukset nousevat helposti suuriksi tehokkaan kunnossapidon kustannuksiin nähden. Kuva 1 havainnollistaa kohteen kriittisyyden ja arvon vaikutusta kunnossapitomenetelmien valintaan. (Järviö et al. 2007, s. 85–86.)



Kuva 1. Kohteen kriittisyyden ja arvon vaikutus kunnossapitomenetelmien valintaan (perustuu lähteeseen Järviö et al. 2007, s. 86).

Kunnossapitoaktiviteettien jaottelu kunnossapitolajeihin mahdollistaa tehokkaan johtamisen, kun esimerkiksi eri työlajien kustannuksia ja työmääriä voidaan seurata (Järviö & Lehtiö 2017, s. 46). Samalla jaottelu selkeyttää moninaista ja toisinaan sekaannuksia aiheuttavaa kunnossapitoterminologiaa (Mikkonen 2009, s. 95). Kuvassa 2 esitetyn Yaran oman kunnossapitostandardi TOPS 2-01:n (Technical Operating Standard) kunnossapitolajien jaottelun mukaan kunnossapitoon kuuluvat samat kunnossapitolajit kuin standardissa SFS-EN 13306:2010 (liite A), mutta TOPS 2-01:ssä on lisänä modifikaatiot. Uusimmassa SFS-EN 13306:2017 (liite A) standardissa on huomioitu myös parannustoimenpiteet lisäämällä jaotteluun kohta parannus (engl. *improvement*). SFS:n standardi tekee jaottelun vian havaitsemisen mukaan, kun taas PSK:n standardi (7501:2010, s. 32) tekee aktiviteettien jaottelun hieman eri tavalla suunniteltuihin ja suunnittelemattomiin eli häiriökorjauksiin.



Kuva 2. Kunnossapitolajien jaottelu Yaran oman kunnossapitostandardin mukaan (perustuu lähteeseen Yara TOPS 2-01).

Standardi SFS-EN 13306:2017 määrittelee kunnossapitolajit seuraavasti:

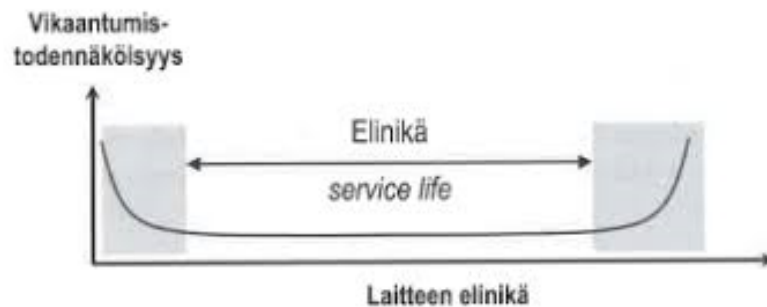
- **Ehkäisevä kunnossapito:** Kunnossapitotoimenpiteet, joiden tarkoitus on arvioida ja/tai pienentää kohteen toiminnan heikkenemistä sekä vähentää kohteen vikaantumistodennäköisyyttä.
- **Kuntoon perustuva kunnossapito:** Ehkäisevää kunnossapitoa, joka sisältää kohteen kunnon arviointia ja analysointia, joka johtaa tarvittaessa kunnossapitotoimenpiteisiin. Kunnon arviointi voi olla aikataulutettua, pyydettyä tehtävää tai jatkuvaa. Kuntoon perustuva kunnossapito voi olla ennustavaa tai ei-ennustavaa.

- **Jaksotettu kunnossapito:** Ehkäisevää kunnossapitoa, joka suoritetaan vakiintunein väliajoin ilman edeltävää kunnon tutkimista. Suoritusväli voi perustua aikaan tai käyttömäärään.
- **Korjaava kunnossapito:** Vian havaitsemisen jälkeen tehtävää kunnossapitoa, jonka tarkoitus on palauttaa vikaantunut kohde toimintakuntoon.
- **Siirretty korjaava kunnossapito:** Korjaavaa kunnossapitoa, jota ei suoriteta välittömästi vian havaitsemisen jälkeen, vaan voidaan lykätä tarvittava aika olosuhteiden mukaan.
- **Välitön korjaava kunnossapito:** Korjaavaa kunnossapitoa, joka suoritetaan välittömästi vian havaitsemisen jälkeen vian seurausten minimoimiseksi.
- **Modifikaatio eli muuttaminen:** Modifikaatioita ovat ne toimenpiteet, joiden tarkoitus on muuttaa kohteen yhtä tai useampaa toimintoa. Standardin SFS-EN 13306:2017 (s. 37) mukaan modifikaatio ei ole kunnossapidollinen toimenpide, mutta kunnossapito voi toteuttaa sen. Järviön ja Lehtiön (2017, s. 19) mukaan nykypäivänä kunnossapidolle kuuluu nimenomaan laitteiston kehittäminen ja muuttaminen.

2.2 Vikaantumismallien esittely

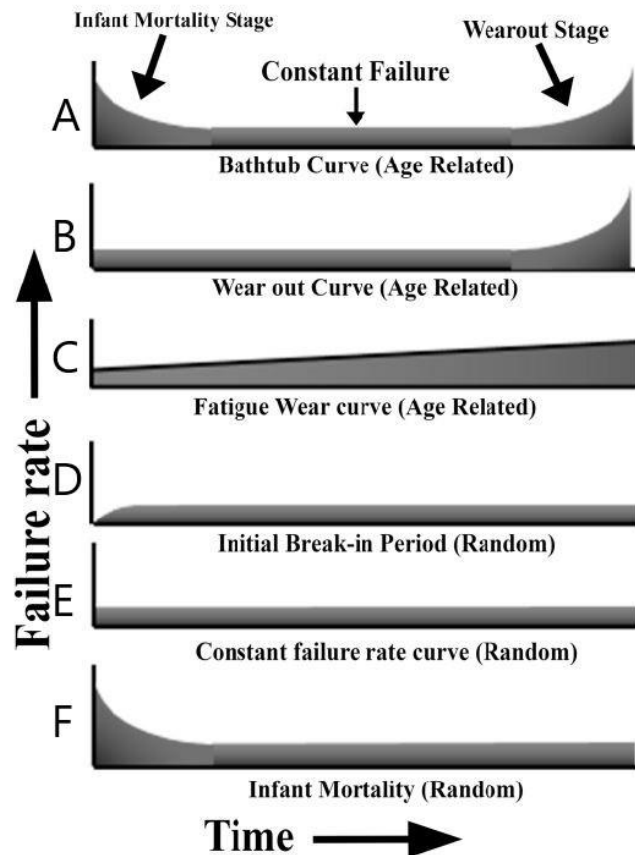
Vikaantumismallilla tarkoitetaan kuvaajaa, joka syntyy vikaantumisen todennäköisyyden ja laitteen eliniän välisestä riippuvuudesta. Perinteinen käsitys laitteen vikaantumistodennäköisyyden ja eliniän suhteesta on niin sanotun kylpyammekäyrän muotoinen, joka on esitetty kuvassa 3. Malli olettaa, että alussa on runsaasti uutuuden kankeudesta johtuvia vikoja, jonka jälkeen vikaantumistodennäköisyys laskee sisäänajovaiheen loputtua. Tästä eteenpäin vikaantumistodennäköisyys pysyy matalana ja laite toimii luotettavasti sen käyttökelpoisen eliniän ajan X , jonka jälkeen käyrä lähtee jyrkkään nousuun loppuunkulumisen tai hajoamisen vuoksi. (Järviö & Lehtiö 2017, s. 80.) Kylpyammekäyrän mukaan laitteella on siis kolme tunnistettavissa olevaa vaihetta, jotka ovat lastentauteja sisältävä sisäänajokausi, suhteellisen matalan vikaantumistodennäköisyyden käyttökausi ja lopuksi kulumiskausi (Nowlan & Heap 1978, s. 45–47). Perinteisen ajattelumallin mukaan riittävän kattavan vikaantumisdatan perusteella voidaan määrittää laitteen käyttökelpoisen eliniän pituus ja suorittaa ennakoivia toimenpiteitä. Esimerkiksi komponentti voidaan vaihtaa uuteen juuri ennen vikaantumista ja välttää näin vikaantumisesta aiheutuvat haitalliset seuraukset. Perinteinen kylpyammemalli toimii tietyille yksinkertaisille laitteille sekä monimutkaisille laitteille, joilla on jokin dominoiva vikamuoto. Iästä riippuvaa vikaantumista tapahtuu tyypillisesti, kun laitteisto on kosketuksissa tuotteen kanssa

sekä kun tapahtumaan liittyy väsymistä, korroosiota, hankausta tai höyrystymistä. (Moubray 1997, s. 12.)



Kuva 3. Perinteinen käsitys laitteen eliniän ja vikaantumistodennäköisyyden välisestä riippuvuudesta. Kylpyammekäyrämuotoinen vikaantumismalli (Järviö & Lehtiö 2017, s. 80).

Kylpyammekäyrän käyttö kunnossapidon lähtökohtana kyseenalaistui 1960-luvulla, kun vikaantumista ei saatu hallintaan ekstensiivisestä osien säännöllisestä vaihtamisesta huolimatta (Järviö & Lehtiö 2017, s. 80). Vuonna 1978 valmistuneessa United Airlinesille tehdyssä vikaantumistutkimuksessa amerikkalaiset Nowlan ja Heap osoittivat, että perinteisen käsityksen sijasta on olemassa kuusi erilaista vikaantumismallia. Suorittamassaan lentokoneteollisuuteen kohdistuneessa tutkimuksessa jokainen tutkittava kohde noudatti jotain löydetyistä kuudesta vikaantumismallista. Vikaantumismalleista kolmessa vikaantuminen on iästä riippuvaa (mallit A, B ja C kuvassa 4) ja kolmessa iästä riippumaton eli satunnaista (mallit D, E ja F kuvassa 4). Tutkituista kohteista vain 11 % noudatti malleja A, B ja C ja loput 89 % malleja D, E ja F. (Nowlan & Heap 1978, s. 45–47.)









Kuva 4. Kuusi erilaista vikaantumismallia. (Perustuu lähteisiin Moubray 1997, s. 235; Abid et al. 2014)

- Mallissa A eli perinteisessä kylpyammekäyrässä on korkea alkuvikaisuus sisäänajovaiheessa, vakio tai vähitellen nouseva vikaantumistodennäköisyys käyttövaiheessa sekä loppuunkulumisvaihe, jossa vikaantumistodennäköisyys nousee äkillisesti korkeaksi kohteen eliniän lopussa. Tällaista vikaantumismallia noudattavan kohteen vikaantumista voidaan yleensä tehokkaasti vähentää ajoittamalla kunnossapitotoimet juuri ennen loppuunkulumisvaihetta.
- Malli B on muuten vastaava kuin malli A, mutta siltä puuttuu sisäänajovaiheen lastentaudit.
- Mallissa C vikaantumisen todennäköisyys nousee vähitellen, eikä siinä esiinny alkuvikaisuutta eikä loppuunkulumisvaihetta. Vaikka vikaantumistodennäköisyys nousee iän myötä, eli malli on ikäriippuvainen, on vikaantumistodennäköisyyden äkillisen nousun puuttuessa mahdotonta määrittää todennäköinen vikaantumisaikankohta luotettavasti.
- Mallille D on ominaista pieni vikaantumistodennäköisyys alussa, joka kuitenkin nousee pian jäädessä pysyvästi tasaiselle tasolle. Vikaantuminen ei ole ennustettavissa.

- Mallissa E vikaantumisen todennäköisyys pysyy vakiona koko laitteen eliniän. Vikaantuminen on siten täysin satunnaista, eikä se ole ennustettavissa.
- Malli F on muuten vastaava kuin malli E, mutta siinä esiintyy sisäänajovaiheessa lastentauteja.

Vikaantumismalleista on tehty myös muita tutkimuksia, joissa esiintyvät samat vikaantumismallit, mutta niiden esiintymistodennäköisyyksissä on eroja. Kuvassa 5 on yhteenveto vikaantumismalleista ja niiden esiintymisestä. Prosentit kuvaavat, kuinka suuri osa tutkituista kohteista noudatti kutakin vikaantumismallia. Moubray (1997) käyttää kirjassaan kuvan 5 sarakkeen UAL arvoja eli Nowlan & Heap:n (1978) tutkimuksen tuloksia.

Vikaantumismallien esiintyminen todellisissa tapaustutkimuksissa

Vikaantumismalli		UAL 1978	Broberg 1973	MSDP 1982	SSMD 1993	Submepp 2001
Ikkäriippuvainen	 A	4 %	3 %	3 %	6 %	2 %
	 B	2 %	1 %	17 %		10 %
	Viitteitä loppuunkulumisesta	6 %	4 %	20 %	6 %	12 %
Ei-ikäriippuvainen	 C	5 %	4 %	3 %		17 %
	 D	7 %	11 %	6 %		9 %
	 E	14 %	15 %	42 %	60 %	56 %
	 F	68 %	66 %	29 %	33 %	6 %
	Ei viitteitä loppuunkulumisesta	94 %	96 %	80 %	93 %	88 %
		Siviililento- tokoneet	Siviililento- tokoneet	Laivat	Sähkökom- ponentit	Sukellus- veneet

Kuva 5. Kunkin vikaantumismallin esiintyminen viiden eri tutkimuksen perusteella (perustuu lähteisiin Nowlan & Heap 1978, s. 45–48; Moubray 1997, s. 56; Allen 2001; Wiseman 2011; Mc Leod et al. 2015).

Kuvassa 5 esitettyjen vikaantumismallien esiintymisestä tehtyjen tutkimusten tuloksista päätellen vain pienellä osalla (6 % Nowlanin ja Heapin (1978) mukaan) kohteista on havaittu loppuunkulumisvaihe (vikaantumismallit A ja B), jolloin valtaosalle (94 % Nowlanin ja Heapin mukaan) kohteista ei voida määrittää vikaantumisen todennäköistä ajankohtaa (vikaantumismallit C, D, E ja F). Nowlanin ja Heap:n (1978) tutkimuksessa monimutkaisimmat laitteet noudattivat erityisesti vikaantumismalleja C, D, E ja F. Koska vikaantumisen ajankohtaa ei voida ennustaa, eivät aikaan tai käyttömäärään perustuvat ennakoivat kunnossapitomenetelmät sovellu näille kohteille. Osia säännöllisesti vaihtamalla tai kun-

nostamalla ei voida juurikaan tai ollenkaan vaikuttaa vikojen määrään. Itseasiassa alkuvikaisuudesta (vikaantumismallit A ja F) johtuen aikaan perustuva kunnossapito voi jopa lisätä vikojen määrää. Samaa mieltä asiasta on myös Moubray (1997).

2.3 Käytettävyys suorituskvyn mittarina

Kunnossapidon tunnusluvuilla, joista käytettävyys on yksi tärkeimmistä, voidaan mitata tavoitteiden toteutumista (Järviö et al. 2007, s. 39). PSK:n standardi 6201:2011 (s. 5) määrittelee käytettävyyden seuraavasti: ”Käytettävyys on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla.” Käytettävyys ilmaistaan yleensä prosenttilukuna, joka ilmaisee, millä todennäköisyydellä kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon tietyllä ajan hetkellä. Tarkasteltaessa käytettävyyttä tunnuslukuna on selkeintä käyttää keskimääräistä käytettävyyttä valitulla ajanjaksolla. Epäkäytettävyys puolestaan on käytettävyyden komplementti. (PSK 6201:2011, s. 5 ja 7.)

Minkä tahansa koneen tai sen osan käytettävyys voidaan laskea kaavalla 1 (PSK 7501:2010, s. 7):

$$K = \frac{\text{Käyntiaika}}{\text{Käyntiaika} + \text{Seisokkiaika}} \quad (1)$$

Käyntiajalla (engl. *uptime*) tarkoitetaan sitä aikaa, jolloin kohde suorittaa siltä vaadittua toimintoa (PSK 7501:2010, s. 23). Seisokkiajalla (engl. *downtime*) tarkoitetaan tässä sitä aikaa, jonka laite on vian vuoksi poissa normaalista tuotantokäytöstä. Seisokkiaikaan kuuluu vian korjausajan lisäksi aika, joka kuluu korjauksen suorittavan henkilön etsimiseen, vian diagnosointiin, varaosien hankkimiseen sekä koekäyttöön. Kunkin mainitun vaiheen lyhentäminen parantaa kohteen käytettävyyttä. Seisokkiaika on siis aika vikaantumishetkestä siihen, että laite on jälleen täysin käyttökunnossa. Yleensä seisokkiaika on huomattavasti pidempi kuin varsinainen korjausaika. (Moubray 1997, s. 75–76.)

Se aika, jolloin laiteelta ei vaadita toiminnon suorittamista, eikä sitä huolleta tai korjata, ei vaikuta käytettävyyteen. Laskentatavasta riippuen käytettävyyteen voidaan ajatella laskettavan tai jättää laskematta aika, jolloin kohde ei ole käytettävissä silloin, kun siltä ei vaadita toiminnon suorittamista. (SFS-EN 13306:2017, Liite C). Tässä työssä edellä mainittu aika ajatellaan vaikuttavan käytettävyyteen, sillä laite ei silloin ole käytettävissä. Tuotannon kannalta tällä ajalla ei kuitenkaan ole vaikutusta.

Käytettävyyden laskemiseen on olemassa myös muita kaavoja, ja kaavan muuttujat on mahdollista eritellä tässä esitettyä pienempiin osiin. Sopivimman kaavan voi valita esi-

merkiksi käytettävissä olevien lähtöarvojen eli yleensä kerätyn datan perusteella. (Hagberg 1998, s. 25–26) Tässä työssä on tutkittu keskimääräistä käytettävyyttä ja käytetty käytettävyyyslaskuissa kaavaa 1. Seisokkiaika on jaettu odotusaikaan ja korjausaikaan, joka sisältää ajan korjausten aloittamisesta laitteen käyttökuntoon saamiseen. Odotusajalla tarkoitetaan aikaa vikailmoituksen tai korjauspyynnön vastaanottamisesta korjausten aloittamiseen (PSK 7501:2010, s. 24).

Käytettävyys ei kerro koko totuutta kohteen toiminnan tehokkuudesta. Tuotannon kokonaistehokkuus (KNL) eli englanniksi *Overall Equipment Efficiency (OEE)* ottaa huomioon käytettävyyden lisäksi laadun ja tuotantonopeuden. KNL kertoo siten käytettävyyttä enemmän kohteen suoriutumisesta. Se saadaan kertomalla kohteen käytettävyys (K), nopeuskerroin (N) ja laatukerroin (L) keskenään. (Järviö et al. 2007, s. 103–104) Tässä työssä tutkittavan laitteiston KNL-lukua ei ole määritetty.

Arkikielessä toisinaan sekoitetaan termit käytettävyys (engl. *availability*) ja luotettavuus (engl. *reliability*). On kuitenkin tärkeä tunnistaa näiden termien ero. Käytettävyys ilmaisee todennäköisyyden, jolla kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon millä tahansa valitulla ajan hetkellä. Luotettavuus, josta käytetään myös nimitystä toimintavarmuus, tarkoittaa kohteen kykyä toimia vikaantumatta. Luotettavuus on todennäköisyys, että kohde ei vikaannu valitulla aikavälillä, ja se ilmoitetaan yleensä prosenttilukuna (Mikkonen 2009, s. 126). Luotettavuus ei huomio vian kestoa, vaan ainoastaan vikojen määrän valitulla ajanjaksolla. Käytettävyys ottaa huomioon myös viasta aiheutuvan tuotantokatkoksen pituuden, eli ajan, jolloin kohde ei ole tuotannon käytettävissä. Jos kone vikaantuu harvoin, mutta vian korjaukseen kuluu todella kauan, on kone luotettava, mutta ei kovin käytettävä. Jos taas kone vikaantuu usein, mutta vikojen korjaus onnistuu nopeasti, on kone käytettävä, mutta ei luotettava. Pelkkä vikojen suuri määrä eli alhainen luotettavuus ei siis kerro koneen toiminnasta kovin paljoa, sillä siitä ei voi päätellä, kuinka suuren osan ajasta kone on käyttökunnossa.

2.4 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito, englanniksi *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, on toimintamalli, jonka avulla selvitetään juuri kyseiselle koneelle tai sen osalle komponenttikohtaiset, sen hetkiseen toimintaympäristöön parhaiten soveltuvat kunnossapitomenetelmät. RCM pyrkii kustannustehokkaaseen kunnossapito-ohjelmaan, jossa ei ole turhia tai perusteettomia tehtäviä, vaan ainoastaan tarpeellisia, tehokkaita ja oikein kohdistettuja kunnossapitomenetelmiä, joiden avulla kone pystyy suoriutumaan vaadituista tehtävistä vaaditulla suorituskyvyllä. RCM ei pyri estämään vikoja, vaan huomio

kohdistuu vikojen seurauksiin. Seuraukset pyritään minimoimaan hyväksyttävälle tasolle tai estämään kokonaan. (Järviö & Lehtiö 2017, s. 163–165.)

Moubray (1997, s. 7) tiivistää hyvin kunnossapidon ja RCM:n yhteyden. Kunnossapidon tehtävä on varmistaa, että tuotanto-omaisuus jatkaa sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat sen tekevän. RCM puolestaan on prosessi, jota käytetään sen selvittämiseen, mitä täytyy tehdä, että tuotanto-omaisuus jatkaa sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat sen tekevän nykyisessä toimintaympäristössä. Kunnossapidolta vaadittavien toimenpiteiden selvittämiseksi RCM-prosessissa käydään läpi seitsemästä vaihetta, jotka on muotoiltu kysymyksiksi tutkittavasta laitteistosta seuraavasti:

1. Mitkä ovat laitteiston suorittamat toiminnot ja suorituskyyvaatimukset nykyisessä toimintaympäristössä?
2. Millä tavoin se voi epäonnistua suoriutumaan siltä vaadituista toiminnoista?
3. Mikä aiheuttaa kunkin toiminnallisen vian?
4. Mitä tapahtuu, kun kukin vika ilmaantuu?
5. Mitä seurauksia kullakin vikaantumisella on?
6. Mitä voidaan tehdä kunkin vian ennustamiseksi tai ehkäisemiseksi?
7. Mitä tehdään, jos soveltuvaa ehkäisevää menetelmää ei löydy? (Moubray 1997, s. 7).

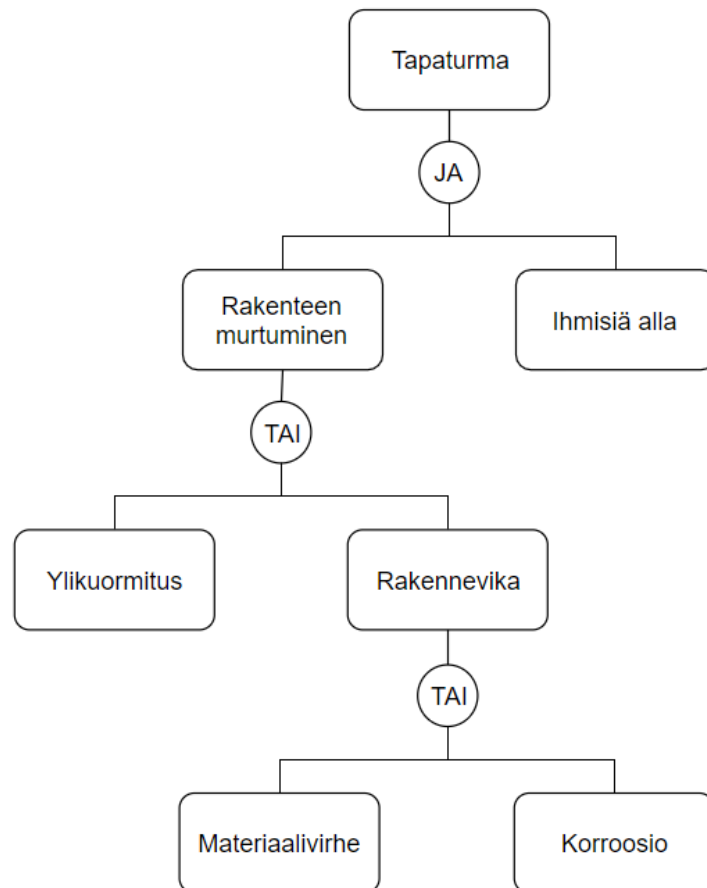
2.5 Vikapuuanalyysi analysointimenetelmänä

Vikapuuanalyysi (VPA) on englanniksi *Failure Tree Analysis (FTA)*. Vikapuu voi olla kvalitatiivinen eli laadullinen, kuten tässä työssä, tai kvantitatiivinen eli määrällinen. (Mikkonen 2009, s. 129.) Menetelmä on kehitetty epäsuotuisan tapahtuman syiden selvittämiseksi monimutkaisissa järjestelmissä (Kivistö-Rahnasto & Vuori 2000, s. 21). VPA on samantapainen vikamuotojen tunnistamisen menetelmä kuin VVA (katso luku 2.7), mutta sen avulla voidaan havaita visuaalisesti järjestelmän syy-seuraussuhteet (Ramentor 2019). Vikapuuanalyysillä vastataan RCM:n kysymyksiin 2 ja 3.

Vikapuu alkaa ylhäältä, ja ylimpänä vikapuussa on ei-toivottu huipputapahtuma, joka voi olla esimerkiksi tuotannon pysähtyminen tai tapaturma. Vikapuuta kasvatetaan alemmille tasoille, joihin kirjataan vaihtoehdot, mistä ylempi taso voi aiheutua, siis etsitään tapahtumalle syytekijät. Näin jatkamalla saadaan graafinen esitys, josta nähdään kaikki tapahtumaketjut, jotka johtavat huipputapahtumaan. Alimpana vikapuussa on tällöin juurisyyt eli perustapahtumat, joten graafisen esityksen ansiosta on helppo nähdä, mitkä

yksittäiset syyt voivat johtaa koko tuotantoprosessin keskeytymiseen. (Mikkonen 2009, s. 129.) Huipputapahtuma voi myös toteutua yksittäisten syiden yhdistelmästä. Nämä helposti tiedostamatta jäävät yhdistelmät selviävät vikapuuanalyysillä. Vikapuumenetelmä soveltuu koko järjestelmän vikojen analysoimiseen, mutta ei kuitenkaan huipputapahtuman seurausten analysointiin. (Liikennevirasto 2011, s. 20.)

Kvantitatiivisen vikapuun avulla on muun muassa mahdollista laskea järjestelmän viikaantumistodennäköisyyksiä ja vertailla eri tapahtumaketjuja numeerisesti keskenään (Liikennevirasto 2011, s. 20). Vikapuun rakentamiseen ja ratkaisemiseen on olemassa tietokoneohjelmia, joiden avulla suurten vikapuiden hallinta on mahdollista (Kivistö-Rahnasto & Vuori 2000, s. 21). Tässä työssä ei käsitellä kvantitatiivista vikapuuta. Kuvassa 6 on yksinkertaistettu esimerkki ei-toivotun tapahtuman syitä tarkastelevasta vikapuusta.



Kuva 6. Esimerkki yksinkertaistetusta vikapuusta, jonka avulla tarkastellaan erään tapaturman syitä (perustuu lähteeseen Kivistö-Rahnasto & Vuori 2000, s. 21).

2.6 Vika- ja vaikutusanalyysi analysointimenetelmänä

Vika- ja vaikutusanalyysillä (VVA), joka tunnetaan englanniksi nimellä *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* vastataan erityisesti RCM-prosessin kysymyksiin 3 ja 4 (Moubray 1997, s 53), ja siihen kirjataan myös vastaukset kysymyksiin 1, 2 ja 5. Vika- ja vaikutusanalyysi on yksi käytetyimpiä juurisyyanalyysimenetelmiä teollisuudessa. Analyysissä tunnistetaan ja listataan vikamuodot sekä niiden vaikutukset tutkittavaan kohteeseen. (Ramentor 2019.)

Vikamuodolla (engl. *failure mode*) tarkoitetaan sitä tapaa, jolla ilmenee kohteen kykeneväisyys suorittaa siltä vaadittu toiminto (PSK 6201:2011, s. 15). Esimerkkinä keskipakopumpun impellerin mahdollisia vikamuotoja ovat impellerin loppuunkuluminen, impellerin jumiutuminen ja impellerin irtoaminen. Voidaan ajatella, että impellerin loppuunkuluminen on ikäriippuvaista, jolloin se todennäköisesti noudattaa vikaantumismallia B (kuva 5). Impellerin jumiutuminen puolestaan johtuu todennäköisesti impelleriin joutu-neesta vieraasta esineestä, joka mitä todennäköisimmin ei ole riippuvainen impellerin iästä ja noudattaa siten satunnaista vikaantumismallia E (kuva 5). Impellerin irtoaminen, mikäli kiinnitys on hyvin suunniteltu, johtuu todennäköisesti epäonnistuneesta asennuksesta. Epäonnistunut asennus ilmenee yleensä pian käynnistyksen jälkeen, jolloin vian todennäköisyys noudattaa vikaantumismallia F (kuva 5). (Moubray 1997, s. 56–57.)

Vikaantumista on käsiteltävä vikamuoto-tasolla. Tarkastelu komponenttitasolla ei riitä. Vikamuodot tunnistamalla ja systemaattisesti listaamalla on mahdollista valita jokaiselle vikamuodolle kuhunkin tilanteeseen sopivin kunnossapitomenetelmä ja luoda ennakoiva kunnossapitostrategia. Vikamuotojen tunnistaminen tuo myös esille modifiointi- ja koulutustarpeet, kuten sihdin lisäämisen ennen pumppua tai asennuskoulutuksen. (Moubray 1997, s. 56–57.)

Vika- ja vaikutusanalyysissä on tärkeää, että vikamuodot selvitetään riittävän yksityiskohtaisesti, jotta analyysistä tulee luotettava. Liian yksityiskohtaisuuksiin meneminen puolestaan vie tarpeettoman paljon aikaa. Vikamuodot on selvitettävä tarkoituksenmukaisella tarkkuudella niin, että niiden perusteella on mahdollista valita oikeat vianhallintamenetelmät. (Moubray 1997, s. 64–65 ja 69.)

Kun tarkoituksenmukaiset vikamuodot on listattu, eli vastattu RCM:n kysymykseen 3, vastataan seuraavaksi kysymykseen 4, eli mitä kunkin vikamuodon ilmaantuessa tapahtuu. Toisin sanoen, miten vikamuodon toteutuminen vaikuttaa (engl. *effect*). Vaikutus voi olla esimerkiksi, että hihna pysähtyy. Tämä on eri asia kuin vikaantumisen seuraukset (engl. *consequences*) esimerkiksi tuotannolle tai turvallisuudelle, joihin etsitään vastaukset kohdassa 5. Seuraukset kuvailevat vaikutuksen merkitystä ja merkityksen suuruutta.

Vaikutukset kohdassa 4 tulee kuvata niin, että niiden perusteella voidaan arvioida vian seuraukset ja seurauksien kesto ja vakavuus kohdassa 5. Kuvauksesta tulee myös selvittää, pystyvätkö käyttäjät havaitsemaan vikaantumisen laitteen normaalin toiminnan aikana. Vaikutuksia arvioidessa tulee ottaa huomioon sekä jo tapahtuneet asiat sekä potentiaalisesti tapahtuvat asiat. (Moubray 1997, s. 73–77.)

Vikamuodot listataan ja koko VVA-analyysi kirjataan erityiseen pohjaan, RCM-informaatiolomakkeelle (engl. *RCM Information Worksheet*). Jokainen vikamuoto numeroidaan yksilöllisesti niin, että RCM-informaatiolomaketta on mahdollista käyttää sujuvasti yhdessä RCM-päätöslomakkeen (engl. *RCM Decision Worksheet*) kanssa. Numerointi tehdään molemmille dokumenteille, jotta ristiviittaus on mahdollista. (Moubray 1997, s. 91 ja 202.) RCM-päätöslomake on esitelty tarkemmin aliluvussa 2.7. Kuvassa 7 on esitetty osa tässä työssä käytetylle RCM-informaatiolomakkeelle tehdystä VVA-analyysistä.

Reliability Centered Maintenance - Failure Mode and Effect Analysis												Yara Suomi	
System: Suursäkityskone				Functional Loc.: ST731 ja ST752				Date: 15.11.2019				Yara Suomi Oy	
#		# U	# F	X FF	# FM			Effect of failure					
Subsystem ID	Subsystem	Unit	Performed function	Functional failure	Failure mode (root cause)	Effect	Consequences	Safety	Environment	Production	Assets	Comments	
1	ERKOPEN IBC	4 Säkin avaus	1 Avata säkin suu, kun säkki on kohdallaan, jotta asetinlaite saa siitä kiinni	A Säkki ei aukea, koska imutarraimet eivät saa riittävän vahvaa otetta säkistä	1 Alipaine-ejektori viallinen	Imutarrainten imu liian heikko, joten säkki ei avaudu.	Säkitys keskeytyy. MTTR 2-3h.			L		Varastonimikkeenä alipaine-ejektori (1kpl)	
					2 Imuaukoissa tai putkistossa epäpuhtautta	Imutarrainten imu liian heikko, joten säkki ei avaudu.	Säkitys keskeytyy. MTTR 1-3h.			L			
					3 Imuputkistossa vuoto	Imutarrainten imu liian heikko, joten säkki ei avaudu.	Säkitys keskeytyy. MTTR 1-2h.			L			
					4 Alipaine-ejektorille tulevassa paineilmalinjassa vuoto, tukos, epäpuhtautta	Imutarrainten imu liian heikko, joten säkki ei avaudu.	Säkitys keskeytyy. MTTR 1-4h.			L			
					5 Alipaine-ejektorin mitoitus väärä	Imutarrainten imu heikohko, joten normaalia hieman tukeemmin kiinni olevat säkit eivät avaudu.	Alheuttaa lyhyitä tuotantokatkoja, jos säkkien suut ovat normaalia tukeemmin kiinni. MTTR alle 1 min / huono säkki.			L		Jos tukassa olevia säkkejä on paljon, voi vaikutukset tuotantoon olla merkittäviä.	

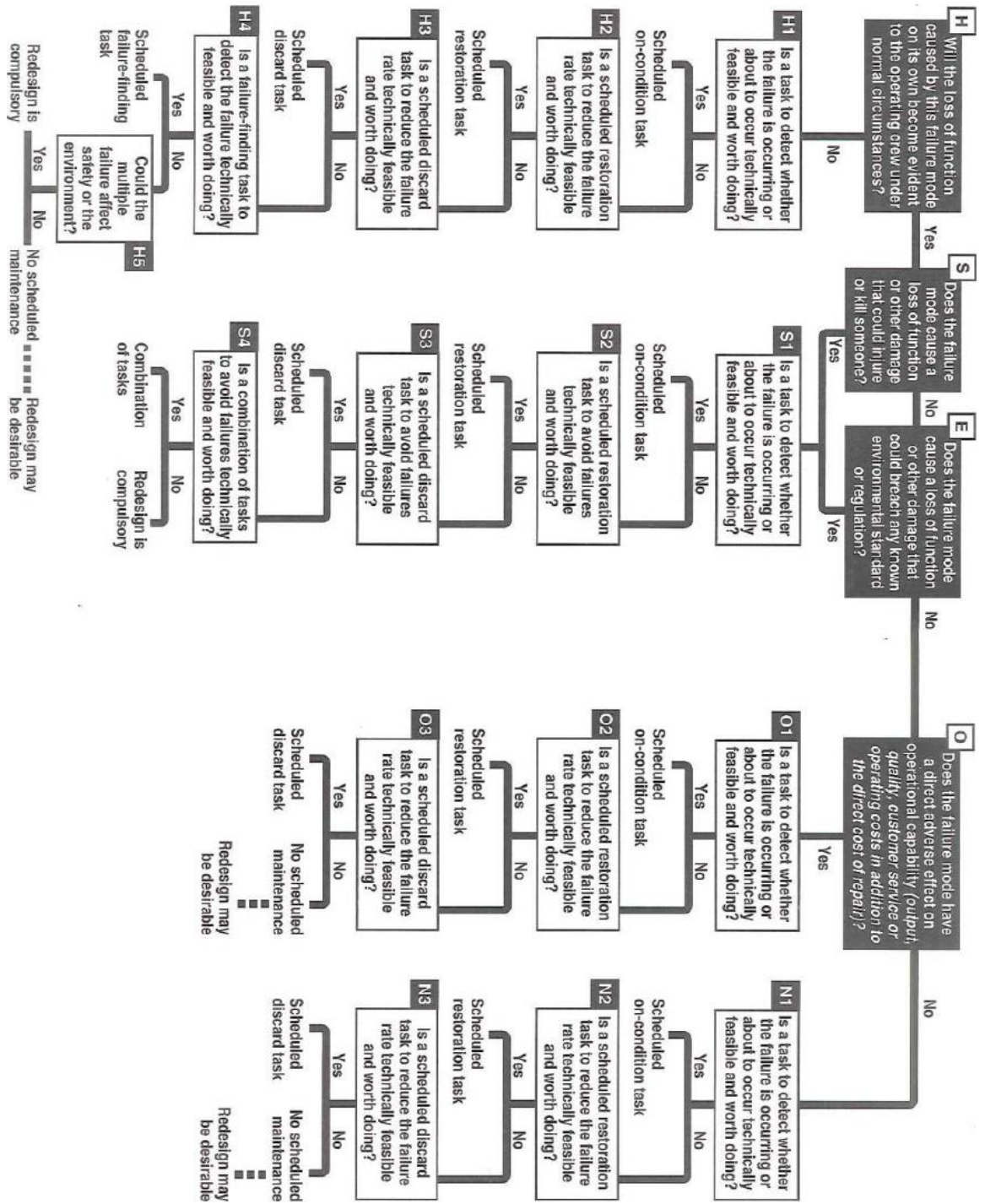
Kuva 7. Osa RCM-informaatiolomakkeelle tehdystä VVA-analyysistä.

2.7 RCM-päätöslomake ja -päätöskaavio

RCM-päätöslomake kokoaa yhteen vastaukset RCM-prosessin viimeisiin kysymyksiin 5, 6 ja 7. RCM-päätöslomakkeeseen kirjataan vastaukset kysymyksiin vikaantumisten seurauksista, vian ennustamiseksi tai ehkäisemiseksi tehtävistä toimenpiteistä sekä toimintaohjeista tehokkaiden ehkäisevien menetelmien puuttuessa. RCM-päätöskaavio (engl. *RCM Decision Diagram*) yhdistää koko päätöksentekoprosessin soveltuvimmista kunnossapitomenetelmistä yhdeksi selkeäksi kokonaisuudeksi, joka voidaan esittää kaaviona kuvan 8 mukaisesti. (Moubray 1997, s. 198.)

RCM-päätöslomake täytetään vikamuoto kerrallaan, kukin omalle rivilleen. Vikamuodot numeroidaan vastaamaan RCM-informaatiolomakkeen numerointia ristiviittausten mahdollistamiseksi. (Moubray 1997, s. 202.) RCM-päätöslomakkeelle kirjataan ne vastaukset, jotka on vastattu RCM-päätöskaaviossa esitettyihin kysymyksiin. Näiden lisäksi RCM-päätöslomakkeeseen kirjataan vikamuotokohtaisesti:

- Mitä rutiininomaisia kunnossapitotoimia tulee tehdä (ei välttämättä mitään), kuinka usein ja kenen toimesta?
- Minkä vikojen vuoksi uudelleensuunnittelu on tarpeen?
- Missä tapauksissa on päätetty antaa laitteen vikaantua, eikä kunnossapitotoimille siten ole tarvetta (RTF)? (Moubray 1997, s. 198.)



Kuva 8. Kunnossapitotoimien valitsemisvaiheessa käytettävä RCM-päätöskaavio (Moubray 1997, s. 200–201).

3. TUTKITTAVAN LAITTEISTON ESITTELY

Tässä työssä tutkittavat laitteistot ovat kotimaisen jauhemaisten aineiden säkitykseen erikoistuneen Erkomat Oy:n valmistamat automaattiset suursäkityslinjat. Uudenkaupungin tehtailla näitä säkityslinjoja on kaksi, jotka ovat lähes samanlaisia. Automaattinen säkityslinja on tarkoitettu pakkaamaan raemaista kiinteää lannoitetta yksikahvaisiin ja korkealaatuisiin suursäkkeihin. Säkityslinjat on otettu käyttöön vuodenvaihteessa 2014–2015. Yhden säkityslinjan jälleenhankinta-arvo (JHA) on varustuksesta riippuen suuruusluokaltaan lähes miljoona euroa. Toimittajan tilausvahvistuksesta selviää muun muassa valmistajan takaamat toiminnot ja suorituskyyvaatimukset, jotka säkityslinjojen tulee toteuttaa. Laitteistolle kohdistettaviin vaatimuksiin vaikuttaa myös vuotuinen säkitystarve ja toimintaympäristön muut tekijät. Toimittajan tilausvahvistuksesta saadaan paljon tietoa RCM-prosessin kysymykseen 1: Mitkä ovat laitteiston suorittamat toiminnot ja suorituskyyvaatimukset nykyisessä toimintaympäristössä?

3.1 Säkityslinjan suorituskyyvaatimukset

Laitevalmistajan vahvistama takuutuotantokapasiteetti on 117 tonnia tunnissa. Jos linja toimisi ideaalisti vuoden ympäri täydellä kapasiteetilla, se säkittäisi vuodessa hieman yli 1000 kilotonnia. Viime vuosina yhden koneen säkitystarve on kuitenkin ollut vain noin 150 kilotonnia vuodessa. Vaikka yhden koneen teoreettisesta 1000 kilotonnin vuosikapasiteettista jäädään käytännössä kauas, on selvää, että 150 kilotonnin vuotuisella suursäkitystarpeella ylikapasiteettia on runsaasti.

Laitevalmistajan antama yleiskatsaus säkityslinjan toiminnasta on seuraavanlainen: Säkityslinjan toiminta on automatisoitua. Operaattorin vastuulla ovat pääasiassa prosessin valvonta ja säkkirullan valmistelu nopeaa vaihtoa varten sekä uuden säkkirullan vaihto vanhan rullan loppuessa. Koneeseen on esiohjelmoitu reseptit eli kullakin säkkikoolla ja lannoitelajikkeella tarvittavat parametrit ja asetukset. Kone muuttaa nämä automaattisesti, kun operaattori valitsee reseptin säkitettävän lajikkeen perusteella. Tarvetta mekaanisille säädöille tai asetuksille, joihin tarvitaan operaattoria, ei pitäisi esiintyä ollenkaan tai vain todella vähän. Käytettävien suursäkkien tulee olla korkealaatuisia ja automaattiprosessiin sopivia. Toinen operaattori vaaditaan noutamaan valmiit säkit jatkokäsitteltäväksi säkityslinjan päästä hihnakuljettimelta.

Operaattorin tehtävät ja osallistuminen säkitysprosessiin on kuvattu suursäkityksen työohjeessa. Säkityksen alkuvalmisteluihin kuuluu uuden säkkirullan asettaminen koneeseen, työmääräimen aktivointi, näytteenottoastian valmistelu sekä reseptin eli koneen säätöarvojen esiasetuksen valinta säkitettävän lajikkeen mukaan. Ennen linjan käynnistämistä tulee myös leimauslaite kytkeä päälle ja yllä olevassa lannoitesilossa tulee olla säkitettävää tuotetta. Alkuvalmistelujen jälkeen linja käynnistetään ja ensimmäisten säkien aikana tulee varmistaa esiasetettujen säätöjen oikeellisuus ja muuttaa niitä tarvittaessa. Operaattorin tulee pitää säkitysteho optimaalisena niin, että prosessi toimii luotettavasti ja tehokkaasti. Leimaus- ja suljentalaitteen toiminnan oikeellisuus tulee tarkastaa heti alussa sekä tämän jälkeen 30 minuutin välein. Säkitysprosessin aikana tulee vaa'an toiminta varmistaa koepunnitsemalla yksi täysi säkki tunnin välein. Operaattori vaihtaa tyhjän säkkirullan uuteen ja vastaa laboratorionäytteen käsittelystä. Lopuksi säkityssiilo tyhjennetään jäännöseräsäkkiin, jota ennen leimauslaite on otettava pois päältä, ettei vajaa säkki vaurioita leimauslaitetta. Operaattori vastaa myös säkityskoneiden siivoamisesta ja tarkastaa, että vaa'an jälkeinen välppäritilä jää puhtaaksi. Rullanvaihtoon, koukun säätöön sekä vaakasuppilon tukkeutumisen varalle on olemassa erilliset työohjeet.

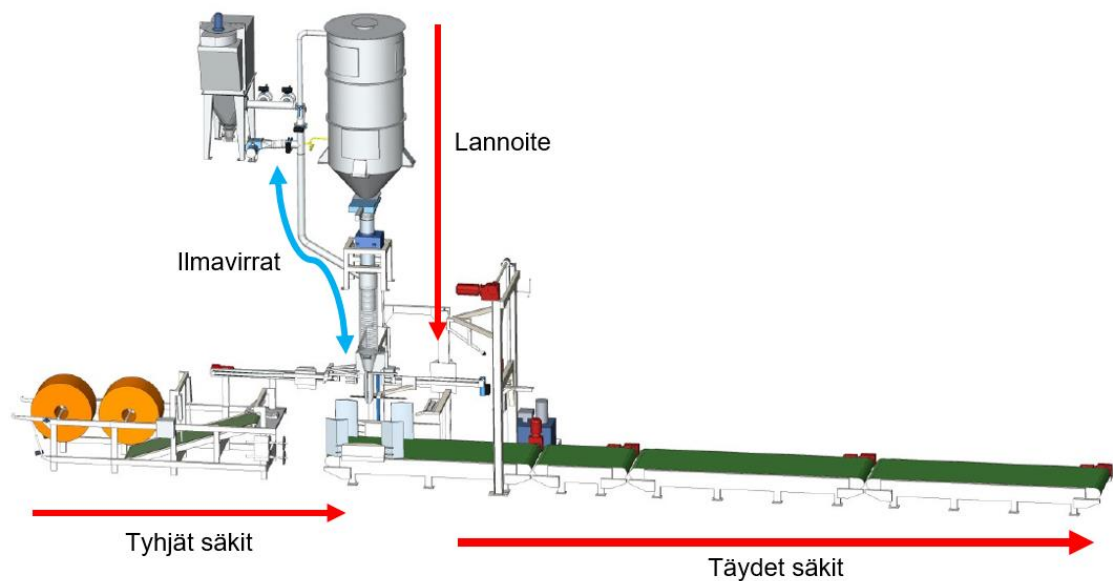
Käytännössä operaattori joutuu osallistumaan säkitysprosessiin huomattavasti enemmän, kuin laitevalmistajan tilausvahvistuksessa on kuvattu, sillä säkityksessä on joitakin yleisiä ongelmanaiheuttajia, joihin vaaditaan operaattorin toimia. Operaattorien haastattelujen perusteella he joutuvat toisinaan säätämään koneen asetusarvoja automaattisen toiminnan sujuvoittamiseksi ja virheiden vähentämiseksi. Esimerkiksi koukun korkeutta voi joutua muuttamaan kesken säkityksen. Kone myös pysähtelee jatkuvasti sen tekemien virheiden seurauksena, minkä vuoksi operaattorin läsnäoloa ja prosessiin osallistumista tarvitaan jatkuvasti. Operaattorien haastatteluissa nousi usein esille säkin laadun vaikutus koneen toimintaan. Toisinaan koko säkkirullan 250 säkkiä saadaan täytettyä ilman virheitä ja toisinaan taas virheitä voi tulla jokaisen säkin kohdalla. Koneen toiminnan pysäyttävien virheiden lisäksi kone saattaa tehdä myös operaattoria työllistäviä laatuvirheitä. Jos havaitaan, että säkkeitä on jäänyt auki, tulee niistä jokainen sulkea käsin nippusiteellä. Jos havaitaan, että säkeistä puuttuu leima, tulee se lisätä jälkikäteen käsi-leimauslaitteella. Tavoite on, ettei yhtäkään virheellistä säkkiä pääse asiakkaalle. Operaattori vastaa myös mahdollisten tukosten ja epäpuhtauksien poistamisesta, joita esiintyy ajoittain vaakasuppilossa ja ilmaputkistossa. Haastattelujen perusteella operaattorit ovat yleisesti tyytymättömiä automaattisen säkityslinjan toimintaan.

Työjohdon mukaan säkitys tulee suorittaa mahdollisimman nopeasti, jotta siihen sitoutuu resursseja, kuten henkilöstöä ja pyöräkuormaajia, mahdollisimman lyhyeksi ajaksi. Säkityskoneiden siiloille lannoitetta tuovat hihnakuuljettimet ja seulat ovat osittain yhteiset

laivanlastauslinjan kanssa, joten säkityssiilojen täyttö katkaisee laivanlastauksen ajoittain. Säkityksen kestäessä suunniteltua pidempään aiheutuu ongelmia resurssisuunnittelussa ja ajoittaisten katkosten vuoksi viivästyksiä laivanlastauksessa. Junavaunuja lastattaessa taas säkit otetaan usein suoraan säkityskoneen hihnalta ilman välivarastointia. Tällöin alentunut säkitysteho ja vikaantumiset merkitsevät viivästystä junan lähtöön. Mitään konkreettista tavoitetta säkitysteholle ei ole asetettu.

3.2 Säkityslinjan toimintakuvaus lyhyesti

Suursäkitys on monivaiheinen linjamainen tuotantoprosessi. Koneeseen syötetään tyhjiä säkkejä ja lannoitetta, jotka yhdistetään lannoitteella täytetyiksi säkeiksi. Säkityslinjan yleiskuva on esitetty kuvassa 9, jossa punaiset nuolet kuvaavat materiaalivirtoja. Koneeseen syötettävät tyhjät säkit etenevät nuolien mukaisesti vasemmalta oikealle ja säkkeihin pakattava lannoite ylhäältä alas, kunnes ne yhdistyvät lannoitteella täytetyiksi säkeiksi linjan puolivälin paikkeilla. Valmiit säkit noudetaan pyöräkuormaajalla linjan päästä kuvan oikeassa reunassa sijaitsevalta hihnakuljettimelta. Sininen nuoli kuvaa ilmavirtojen kulkua.



Kuva 9. Säkityslinjan yleiskuva ja säkitysprosessin virtaus (perustuu lähteeseen *Erkomat 2014*).

Täytettävät suursäkit toimitetaan 90–250 säkin rullissa säkin koosta riippuen. Operaattori nostaa katonostimen avulla tämän rulla-akseliin kiinnitetyn säkkirullan säkityslinjan alkupäässä sijaitsevien rullatukien päälle. Kone hoitaa tästä eteenpäin kaikki säkitysvaiheet, kunnes lannoitetta täynnä oleva säkki saapuu suljettuna ja leimattuna noutopisteelle linjan lopussa olevan hihnakuljettimen päähän.

Noutorullaimen kuljetin pyörittää rullatukien päällä pyörivää säkkirullaa auki, jolloin säkki lähtee etenemään hihnalla kohti säkin avausta. Säkki pysähtyy tarkalleen oikeaan paikkaan, jossa säkin avauskoneisto avaa sisäsäkin suun. Säkin avauslaitteisto pitää säkin suuta auki, kunnes asetinlaite tarttuu säkkiin ja vie sen täyttöpiipulle. Kun asetinlaite ja säkki ovat piipun alla, piippu laskeutuu säkin sisään, säkin pitimet painavat sisäsäkin tiiviisti piippua vasten ja piipusta puhallettava ilma pullistaa säkin oikeaan muotoonsa. Ilmaa täynnä oleva säkki keskittyy piipun alle ja sisään vapautetaan vaa'alla etukäteen punnittu määrä lannoitetta imien samanaikaisesti ylimääräinen ilma pois säkistä. Täytön aikana säkin pohja lepää hihnakuljettimen päällä.

Lannoitetta täynnä oleva säkki lähtee hihnakuljettimen avulla etenemään linjan seuraavaan vaiheeseen, suljentaan. Piipulta lähtiessä kaksipiikkinen viikkari venyttää sisäsäkin suoraksi ja rypyttömäksi ”levyksi”, johon nippi tarttuu kiinni pitääkseen säkin suun ylhäällä. Kuljetinhihna käynnistyy, jonka kanssa nippi liikkuu samaa vauhtia, kunnes säkki pysähtyy avonaisten suljentaleukojen väliin niin, että suljentaleukojen sulkeutuessa leuat lämmittävät sisäsäkin kiinni. Suljettu säkki etenee nostokoukulle, joka suoristaa säkin nostamalla sen ilmaan. Säkin ollessa ilmassa pukkari työntää sisäsäkin ulkokuoren suojaan, jonka jälkeen koukku voi halutessa pyöräyttää säkkiä 90 astetta. Koukun laskettua säkin takaisin hihnalle lähtee säkki etenemään hihnakuljettimella kulkien leimauslaitteen ohi. Leimauslaite kirjoittaa säkkiin halutut tiedot, ja säkki siirtyy säkityslinjan loppuun hihnakuljettimen päähän, josta kuormaaja noutaa sen jatkokäsittelyä varten.

3.3 Suursäkkien ominaisuudet

Suursäkityksessä käytettävät säkit ovat muovista valmistettuja yksikahvaisia säkkejä, joiden paino lannoitteella täytettyinä vaihtelee 600–1 200 kg:n välillä. Uudessakaupungissa käytetään pakkauskokoja 600 kg, 650 kg, 700 kg, 750 kg ja 1 200 kg. Tyhjät säkit toimitetaan rulliksi pakattuina, ja yhden rullan paino on noin 240–310 kg säkistä riippuen. Alle 750 kg:n säkkien hinta on noin 4 € ja 1 200 kg:n säkin hinta on noin kaksinkertainen. Hinnat vaihtelevat raaka-aineiden hintojen ja tehtyjen sopimusten mukaan. Säkki koostuu polyeteenistä valmistetusta ilmatiiviistä sisäsäkistä ja noston kestävästä, vahvasta polypropeenistä ulkosäkistä. Säkeille on annettu tarkat kriteerit, esimerkiksi mitoituksen ja laadun osalta, jotka niiden tulee täyttää toimiakseen sujuvasti automaattisessa säkityskoneessa. Säkkejä tulee kuitenkin usealta eri valmistajalta, jolloin myös eroja säkkien välillä esiintyy. Eroja tosin esiintyy myös saman valmistajan toimituserien välillä, sillä säkkirullat valmistetaan pääosin käsityönä.

Hankintapäällikön mukaan säkkeihin on mahdollista tehdä muutoksia, mutta siihen tarvitaan hyvät faktapohjaiset perusteet. Konsernissa on hiljattain valmistunut Euroopan

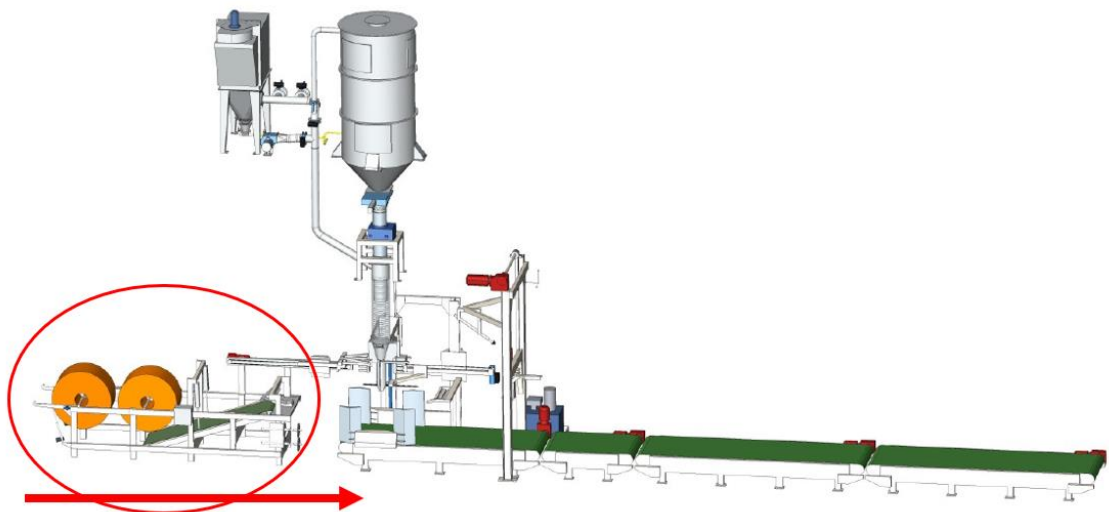
laajuinen säkkispesifikaatioiden yhtenäistämiprojekti, jossa eri säkkispesifikaatioiden vähentämisen ja volyymin kasvamisen myötä saavutetut kustannussäästöt ovat pelkäättään Suomen osalta satojatuhansia euroja. Suuren volyymin vuoksi jo pienestä säkin hinnan noususta tulee merkittävä vuotuinen kustannus. Perinteisesti ongelmien ilmaantua on säkkitoimittajia tiedotettu asiasta ja halutut muutokset on poikkeuksetta toteutettu. Tämän perusteella voi päätellä, että säkkitoimittajat ovat halukkaita toimittamaan laadukkaita säkkejä ja tekemään muutoksia pyydettyä.

3.4 Tutkittavan laitteiston toimintakuvaus

Laitteiston toiminnan yksityiskohtainen kuvaus on esitetty omien otsikoiden alla alijärjestelmittäin. Kuvaus on tarvittaessa tehty aliyksiköittäin, mikäli alijärjestelmä on jaoteltu pienempiin osiin.

Noutorullain

Noutorullain on säkityslinjan ensimmäinen alijärjestelmä, ja sen sijainti on ympyröity kuvassa 10. Noutorullain on tarkoitettu syöttämään säkkejä säkitysprosessiin rullaamalla auki siihen asetettua säkkirullaa ja viemällä tyhjät säkit täyttöpään alle. Noutorullaimeen kuuluvia aliyksiköitä (engl. *unit*) ovat rullatuki, nauhakelain, kuljetin, säkin avauskoneisto ja asetinlaite, joita on tarkasteltu omien otsikoiden alla.

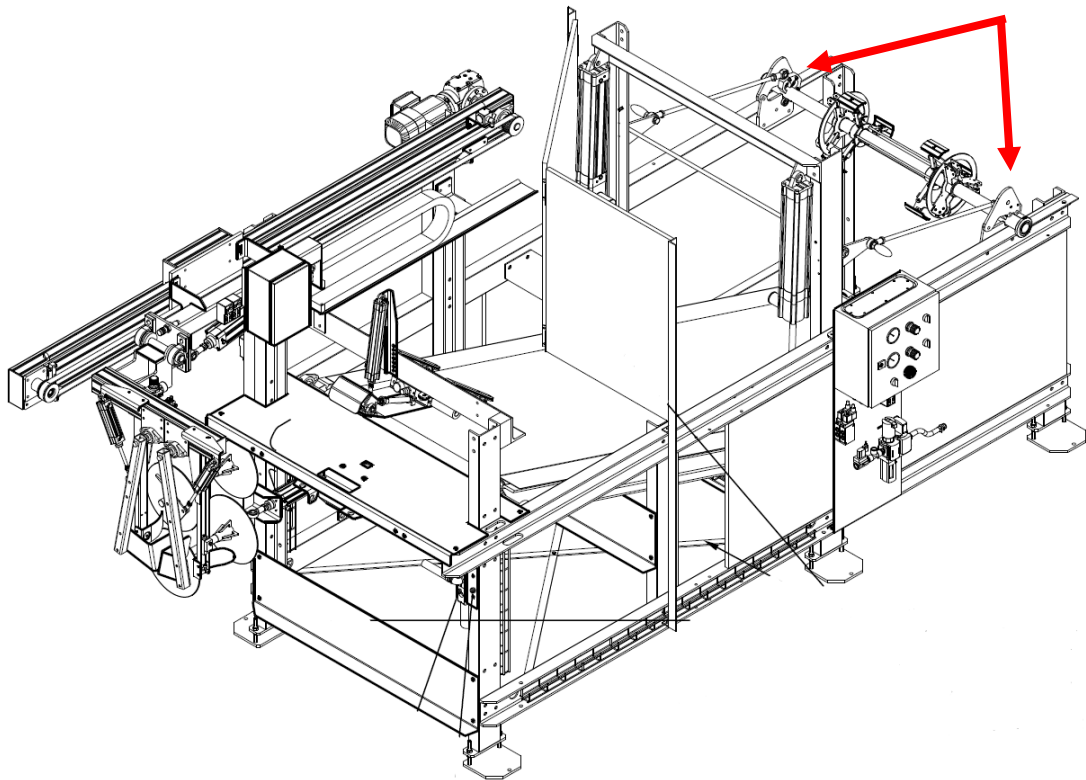


Kuva 10. Noutorullaimen sijainti säkityslinjassa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Rullatuki

Rullatuki on yksinkertainen, laakeroitu pyörimisalusta, jonka päällä rulla-akseli pyörii vapaasti. Tämä rulla-akseli työnnetään ensin uuden säkkirullan läpi ja akseli rullineen nos-

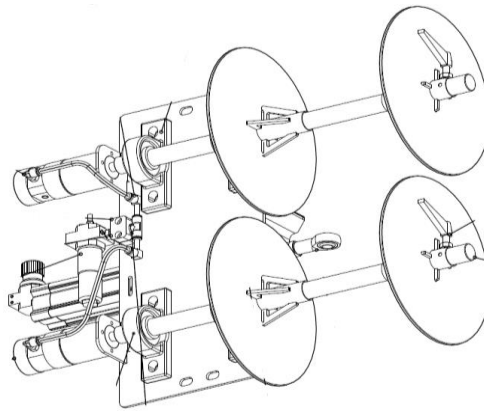
tetaan kattonostimen avulla paikoilleen rullatukien päälle. Rullatukia on 2 kpl, yksi säkkirulla-akselin molemmille päille. Rulla-akselin nouseminen pois rullatukien päältä on esitetty erillisellä käsikäyttöisellä lukitusmekanismilla. Alla olevan kuljettimen hihna painuu säkkirullaa vasten ja pyörittää säkkirullaa auki. Kun säkkirulla on tyhjä, avataan rullatukien lukitus ja nostetaan tyhjä säkkirulla pois uuden tieltä. Säkkirullien vaihdosta vastaa operaattori ja siihen on olemassa erillinen työohje. Rullatukien ja niiden lukitusmekanismien sijainti noutorullaimessa on merkitty nuolilla kuvassa 11.



Kuva 11. Rullatukien ja lukitusmekanismien sijainti noutorullaimessa. Kuvassa rullatukien päällä on tyhjä säkkirulla-akseli (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Nauhakelaimin

Säkkirullan valmistuksessa käytettävät, säkkien mukaan rullatut kaksi muovinauhaa kerätään nauhakelaimen avulla talteen hallitusti sitä mukaan, kun säkkirullaa pyöritetään auki. Nauhakelaimen ei ole tarkoitus tuottaa voimaa säkin aukirullaukseen, vaan ainoastaan pitää nauhat kireinä, mikä estää niiden sotkeutumisen. Kummallekin rullassa olevalle nauhalle on oma kela, jota pyörittää paineilmamoottori. Nauhojen tasaisesta kelaumisesta huolehtii hiljalleen nauhakelojen edessä edestakaisin liikkuva sylinteri, jonka läpi nauhat kulkevat. Nauhakelaimien rakenne on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Nauhakelaimen tyhjillä nauhakeloilla (Erkomat 2014).

Kuljetin

Kuljetin koostuu noin 3 metriä pitkästä hihnasta, jota käyttää taajuusmuuttajalla ohjattu rumpumoottori. Kuljettimella on kaksi päätehtävää. Se painautuu alapuolelta rullatukien päällä olevaa säkkirullaa vasten, jolloin se käynnistyessään pyörittää säkkirullaa. Tällöin rullasta avautuu säkkejä hihnalle yksitellen säkin suu etenemissuuntaan päin. Samalla kuljetin kuljettaa hihnalle avautuneen säkin avauspöydälle ja pysäyttää sen noin 4 cm:n tarkkuudella oikeaan kohtaan niin, että säkin avauslaitteisto pystyy avaamaan sisäsäkin suun. Oikea pysähtymiskohta on kriittinen säkityslinjan automaattisen toiminnan kannalta. Säkki jää määrättyyn paikkaan odottamaan seuraavaa vaihetta, sisäsäkin avausta. Kuvassa 13 kuljetin pyörittää auki taaimmaista säkkirullaa ja etummainen rulla on vaihdon nopeuttamiseksi valmiiksi nostimella odottamassa edellisen säkkirullan lop-
pumista.



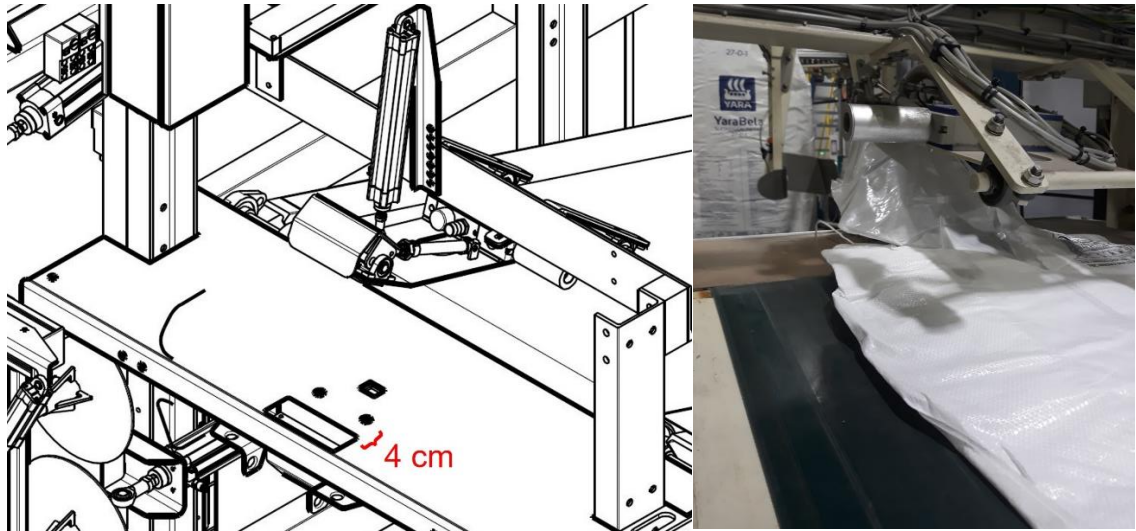
Kuva 13. Säkkien aukirullaus noutorullaimella säkityslinjan alussa. Kuljetin sijaitsee aukirullattavan säkkirullan alla.

Avauspöytään upotettu valokenno tunnistaa saapuva säkin ja antaa logiikalle signaalin säkin saapumisesta. Logiikka odottaa signaalin saatuaan ennalta määrätyn ajan ja antaa sitten kuljettimelle pysähtymiskäskyn. Tätä valokennon antaman signaalin ja moottorin pysähtymiskäskyn välistä pysähtymisviivettä operaattorin on mahdollista säätää. Lisäksi kuljettimen taajuusmuuttajaan on mahdollista määrittää pysähtymisaika, jonka kuluessa moottori ja kuljetin pysähtyvät pysähtymiskäskyn saatuaan. Jos pysähtymisaikaa ei ole määritetty, pysähtyy kuljetin vapaasti kitkavoimien avulla, sillä moottorissa ei ole jarrua. Sekä pysähtymisviivettä että pysähtymisaikaa säätämällä pystytään vaikuttamaan säkin pysähtymiskohtaan.

Säkin avauskoneisto

Säkin avauskoneisto koostuu avausvarresta, avauspöydästä ja alipaine-ejektoreista. Alipaine-ejektoreiden imuaukot eli imutarraimet ovat avausvarressa ja avauspöydässä. Avausvarressa on kiinni myös ylempi avausnokka ja avauspöydässä alempi avausnokka. Säkin avauskoneiston tehtävänä on avata avauspöydällä makaavan sisäsäkin suu niin, että asetinlaitteen koura mahtuu säkin sisään ja kouran on mahdollista tarttua säkin sivuista kiinni. Tärkeää avauksen toiminnan kannalta on, että noutorullaimen kuljetin on pysäyttänyt säkin avauspöydälle oikeaan kohtaan noin 4 cm:n tarkkuudella. Säkin tulee pysähtyä säkin avauksen aloittavien imutarraimien päälle peittäen ne kokonaan. Säkin pysähtymiskohta on merkitty punaisella aaltosulkeella kuvaan 14. Säkin ja imutarraimien välille on tarkoitus muodostaa alipaine, jonka avulla imutarraimet tarrautuvat säkkiin molemmin puolin, joten säkin ja imutarraimien väli ei saa vuotaa. Kun avausvarsi on hieman noussut ja säkki on saatu imutarraimien avulla hieman auki, kääntyvät avausnokat nopeasti säkin sisään ylä- ja alapuolelta. Säkin avaus suoritetaan loppuun avausnokkien avulla samalla kun imutarraimet kytkeytyvät pois päältä.

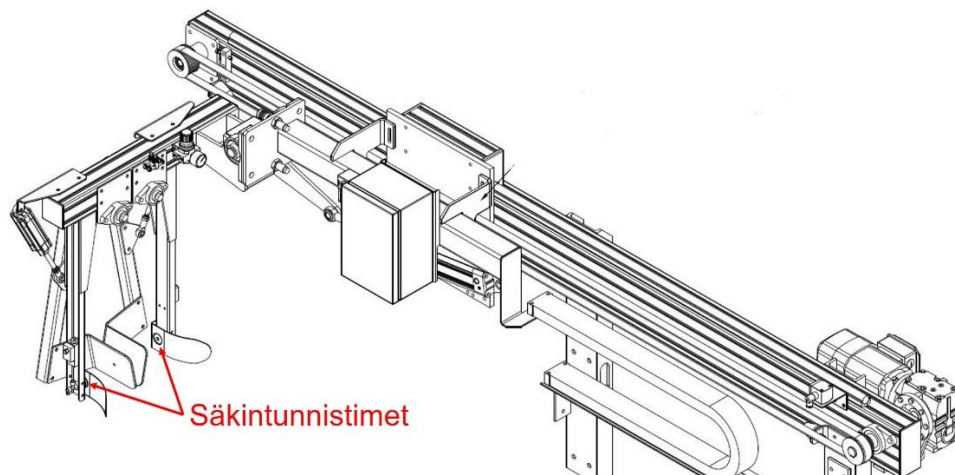
Avaus on onnistunut, kun sisäsäkin alapuoli jää avauspöydälle ja yläosa nousee avausvarren mukana ylös kuvan 14 mukaisesti niin, että asetinlaitteen kouralevyt mahtuvat sisäsäkin sisälle. Avauskoneistossa on kaksi valokennoa, jotka valvovat säkin avauksen onnistumista valokennon ja säkin välisen etäisyyden perusteella. Toista valokennoa hyödynnetään myös noutorullaimen kuljettimen pysäyttämisessä. Jos kone tunnistaa, että säkin etäisyys valokennoista on oikea ja avauksen suorittava sylinteri on ylärajalla, saa asetinlaite luvan tulla noutamaan säkkiä. Avausnokat irrottavat säkistä suurin piirtein samaan aikaan, kun asetinlaitteen kourat tarttuvat säkistä kiinni.



Kuva 14. Vasemmalla avauskoneisto valmiina avaamaan säkin ja oikealla avauskoneiston onnistuneesti avaama säkki (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Asetinlaite

Asetinlaite ottaa tyhjän, avatun säkin noutopöydältä ja asettaa sen piipun ympärille. Asetinlaitteessa on kolme liiketoimintoa. Kourien avautuminen ja sulkeutuminen, asetinlaitteen kouran kääntö sekä taajuusmuuttajakäyttöisellä vaihdemoottorilla toimiva asetinlaitteen horisontaalinen siirto. Kouran kääntö ja avautuminen toimivat paineilmasylinterien avulla. Asetinlaitteen ensimmäinen tehtävä on mennä säkin avauksessa avatun sisäsäkin sisään kouran ollessa kuvan 15 mukaisessa asennossa. Säkin sisään päästyään kourat sulkeutuvat ja säkki jää kouralevyjen väliin tukevaan otteeseen. Olennaista toiminnon onnistumisen kannalta on hyvin avattu säkki.



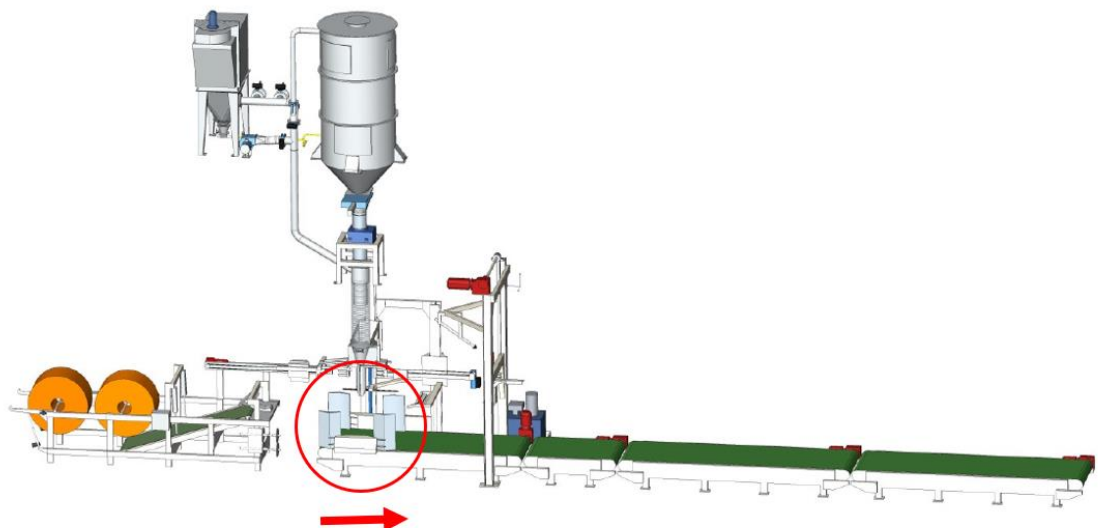
Kuva 15. Asetinlaite valmiina noutamaan uutta säkkiä avauspöydältä (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Saatuaan säkistä otteen asetinlaite kuljettaa sen horisontaalsiirron ja käännön avulla piipun alle ja pysähtyy keskelle piippua. Sijaintitieto tulee optiselta etäisyysmittalaitteelta.

Matkalla piipulle asetinlaitteen kourissa olevat painetunnistimet tunnistavat, onko säkki hyvin asetinlaitteessa. Kun säkki peittää tunnistimen reiän, anturi havaitsee muodostuvan paineen ja tietää, että säkki on hyvin. Jos painetta ei muodostu, eli säkki ei ole kouran otteessa tai tunnistimen ja säkin väli vuotaa, koura hylkää säkin ennen piippua ja avaa kourat, jolloin säkitys keskeytyy. Kun asetinlaite on pysähtynyt säkin kanssa piipun alle, laskeutuu piippu säkin sisään. Piipun laskeuduttua ala-asentoon asetinlaite irrottaa otteen säkistä ja palaa noutopöydän luo hakemaan seuraavaa avattua säkkiä.

Säkin oikaisin

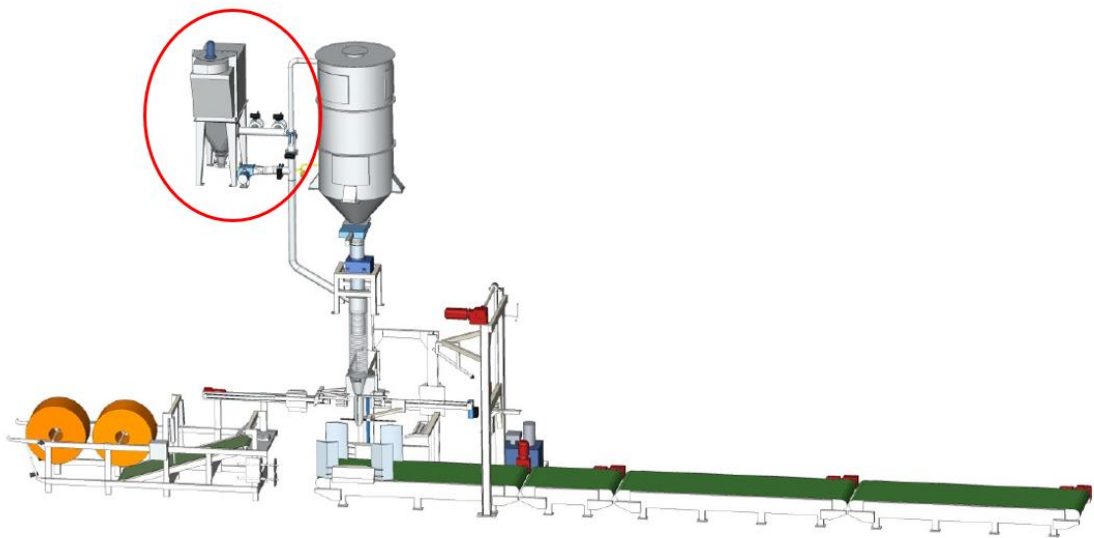
Säkin oikaisimella, jota myös porteiksi kutsutaan, tarkoitetaan neljää, varsien päässä pystyssä olevaa levyä, jotka avautuvat ja sulkeutuvat kääntymällä noin 45 astetta pysty-akselin ympäri. Portit sijaitsevat piipun alla kuvan 16 mukaisesti. Säkin oikaisimia liikuttavat paineilmasyylinterit, joita on yksi kullekin levyille. Säkin oikaisimien tehtävä on keskittää ilmalla täyteen puhallettu säkki piipun alle, ennen kuin lannoite pudotetaan säkkiin. Uuden säkin tullessa piipulle säkin oikaisimet ovat auki ja pysyvät sivussa pois tieltä. Puhallettaessa säkkiä täyteen ilmaa se roikkuu suuaukostaan säkin pitimien varassa, jolloin säkin alaosa pääsee liikkumaan vapaasti. Kun säkki on täynnä ilmaa, portit sulkeutuvat, jolloin ne asettuvat joka puolelta säkin kylkeä vasten ohjaten säkin samalla keskelle piipun alle. Kun portit ovat kiinni, piippu laskeutuu hieman, jotta säkin pohja makaa hihnan päällä ja säkkiin pudotetaan ennalta punnittu lannoitemäärä. Ennen kuin hihnakuljetin lähtee viemään täyttä säkkiä eteenpäin, säkin oikaisimet kääntyvät pois edestä auki-asentoon.



Kuva 16. Portit sijaitsevat piipun alla ja ovat kuvassa auki-asennossa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Puhallus, imu, pölynpoisto

Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteisto hallitsee säkityskoneen ilmavirtoja. Tarpeen mukaan se puhalttaa säkkiin ilmaa tai imee säkistä ilmat pois sekä pyrkii vähentämään lannoitteesta tulevan pölyn haittavaikutuksia keräämällä pölyn hallitusti talteen. Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteisto sijaitsee muuta laitteistoa korkeammalla kuvan 17 mukaisesti. ST752:n koko laitteisto sijaitsee samassa tilassa, kun taas ST731:lla kerrosten välissä on betonilattia. Laitteisto koostuu pääasiassa puhaltimesta, pölynpoistosuodatin-kaapista imureineen, putkistosta ja läppäventtiileistä, joista osa on käsi- ja osa paineilmakäyttöisiä. Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteiston tehtävä on puhalttaa piipun ympärille asetettuun tyhjiin säkkiin ilmaa niin, että säkki tulee täyteen ja saa muotonsa. Tämän jälkeen vaa'alla punnittu lannoitemäärä pudotetaan säkkiin. Kun lannoite on säkissä, käynnistetään imu, joka imee säkistä ylimääräisen ilman sekä lannoitevirran tuoman pölyn pölynkeräyssuodattimien läpi. Piipun noustessa siinä oleva imu nostaa sisänsäkin suun ylös, jotta nippi saa siitä kiinni. Imetystä ilmasta erotellaan suodatinelementtien avulla pöly erikseen, jotta se voidaan johtaa haluttuun paikkaan.



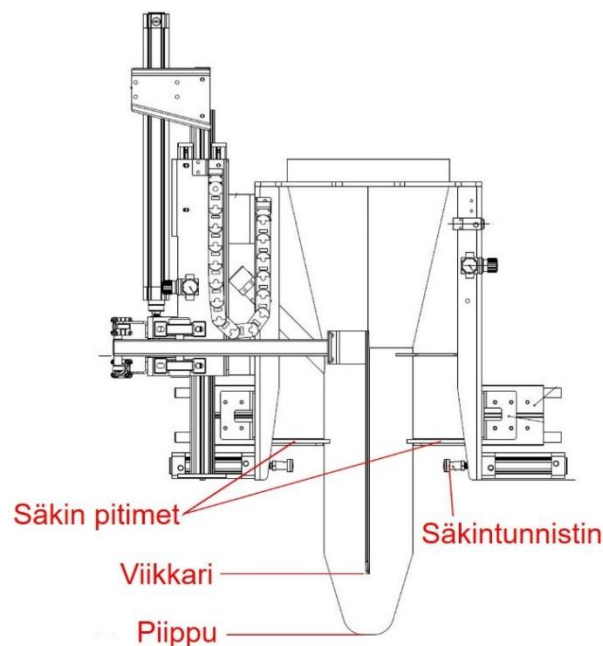
Kuva 17. Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteisto sijaitsee vaa'an kanssa muuta laitteistoa korkeammalla (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Kriittistä oikean toiminnan kannalta on puhalluksen ja imun oikea-aikaiset ajoitukset, jotta säkki on täyteen pingotettuna, kun lannoiteannos putoaa säkkiin. Säkin puhalluspaine ei saa olla liian suuri, ettei säkki repeä paineen vaikutuksesta. Liian pitkä puhallusaika on huono, sillä silloin puhallusilman mukana kulkevaa pölyä pääsee vuotamaan tuotantotiloihin. Myös imun täytyy alkaa oikeaan aikaan, jotta se ei ime imukanavaan lannoitetta, eikä säkki löysty täytön aikana, mutta kuitenkin säkistä poistuu lopuksi ylimääräinen ilma.

Putkiston puhtaus on tärkeää, jotta riittävä ilmamäärä mahtuu ongelmitta virtaamaan sekä läpät pystyvät avautumaan ja sulkeutumaan sujuvasti ja tiiviisti.

Täyttöpää

Täyttöpään kautta lannoite pudotetaan säkkiin, jonka jälkeen säkin suu valmistellaan suljenta varten. Täyttöpäähän kuuluvia aliyksiköitä ovat piippu, säkin pitimet sekä viikkari. Säkin pitimet ja viikkari ovat kiinni piipussa, ja ne muodostavat kokonaisuutena täyttöpään kuvan 18 mukaisesti. Täyttöpää sijaitsee suoraan porttien yläpuolella. Täyttöpään toimintaa on käsitelty tarkemmin aliyksiköittäin omien otsikoiden alla.



Kuva 18. Täyttöpää koostuu piipusta, säkin pitimistä ja viikkarista (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Piippu

Piippu, jonka virallinen nimi on täyttöputki, on haponkestävästä teräksestä valmistettu suppilomainen putki, jonka kautta lannoite ohjataan vaa'alta säkkiin ja jonka kautta puhallus- ja imuilmavirrat kulkevat. Piipun ja vaa'an välissä on haitariputki, joka venyy ja menee kasaan piipun korkeuden mukaan. Asetinlaitteen tuotua tyhjän säkin piipun alle, piippu laskeutuu säkin sisään (kuvan 19 tilanne), säkin pitimet menevät kiinni ja piippu nousee ylös niin, että auki puhalluksen aikana säkin pohja ei kosketa kuljettimeen. Kun säkki on täynnä ilmaa, piippu laskee niin, että säkin pohja lepää kevyesti kuljettimen päällä ja lannoite pudotetaan säkkiin. Kun säkki on täynnä, piippu nousee ylös pois säkistä imien samalla ylimääräisen ilman pois säkistä. Piipun korkeudensäädön hydraulisylinteri saa käyttövoimansa hydraulikkayksiköltä, jonka toimintaa käsitellään omassa aliluvussa.



Kuva 19. Kuva tilanteesta, jossa asetinlaite on vienyt säkin piipun alle ja pitää siitä kiinni. Piippu on laskeutumassa säkin sisään, viikkari on kiinni piipussa ja puolikaaren muotoiset säkin pitimet ovat auki.

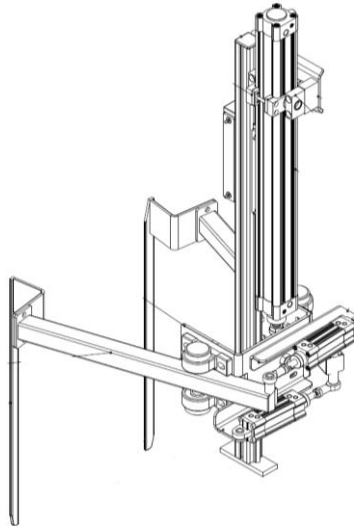
Säkin pitimet

Säkin pitimet painavat säkkiä piippua vasten ja pitävät sitä paikallaan sen jälkeen, kun asetinlaite on asettanut säkin piipun ympärille ja irrottanut otteensa siitä. Säkin pitimet koostuvat kahdesta piippua vasten molemmilta puolilta painavasta puolipyörän muotoisesta leuasta, jotka liikkuvat lineaarisesti piippua vasten pneumaattisten johdinsylinterien avulla. Säkin pitimet siis pitävät säkistä kiinni, ettei se valahda pois piipulta, sekä tiivistävät säkin ja piipun välin, ettei ilmaa ja pölyä pääse karkaamaan säkkiä auki puhallettaessa. Kun säkki on täynnä lannoitetta, säkin pitimet avautuvat, piippu nousee ylös ja viikkari ottaa säkin suusta kiinni. Säkin pitimiin kuuluu myös puolikaarien alla olevat paineilmasylinterit, joiden päässä on kumitallat. Kuten kuvaan 18 on merkitty, toisessa kumitallassa on säkintunnistin, joka tunnistaa, että säkki on oikein asetettuna piipun ympärille. Nämä sylinterit kumitalloineen osallistuvat myös säkin paikallaan pitämiseen, mutta niitä kutsutaan piipun säkintunnistimiksi.

Viikkari

Viikkarin tehtävä on levittää säkin suu suoraksi, rypyttömäksi "levyksi" sen jälkeen, kun säkki on täytetty lannoitteella ja siitä on imetty ylimääräiset ilmat pois. Viikkari on kiinnitetty piippuun ja se koostuu kahdesta varsien päässä olevasta pitkästä puikkomaisesta teräksestä, viikkareista, jotka levittyvät paineilmasylinterien avulla. Viikkari liikkuu pystysuunnassa pitkän paineilmasylinterin ja johteen avulla. Kuva 20 havainnollistaa viikkarin rakennetta. Viikkarit ovat kiinni piipun kyljessä, kun piippu menee säkin sisään. Viikkarit

ulottuvat piippua alemmas ja nousevat piippua hitaammin ylös, jolloin piipun noustua säkistä viikkarit vielä jäävät säkin sisään. Säkin pitimien avauduttua ja piipun tullessa ylös säkistä, viikkarit avautuvat piipun kyljestä sivuille päin, jolloin säkin suu levittyy. Viikkari nousee samanaikaisesti ylöspäin, jolloin säkin suu nousee pystyyn samalla, kun nippi tarttuu levyksi venytettyyn säkin suuhun, jonka jälkeen viikkareiden ote säkistä irta-
toaa.

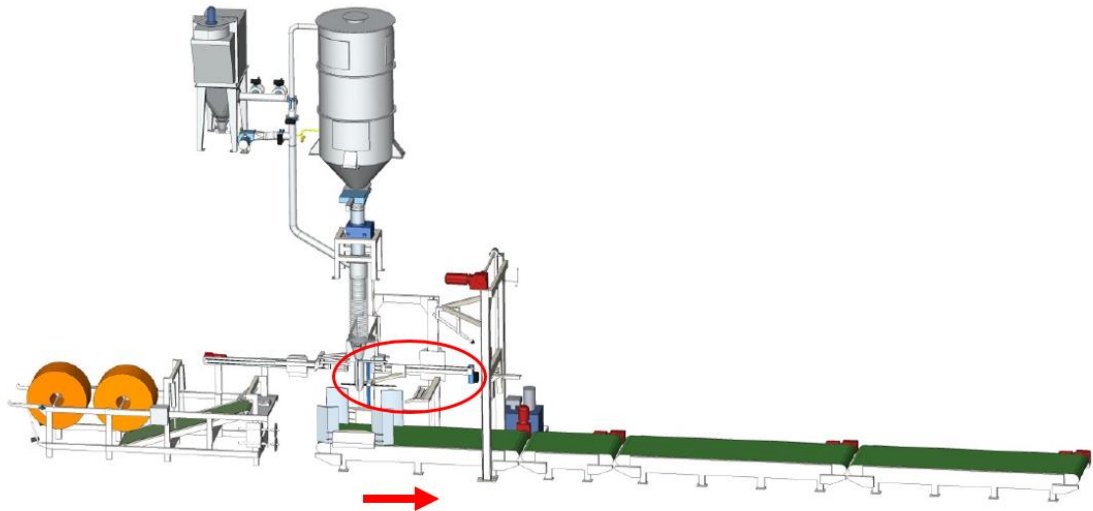


Kuva 20. Viikkarin puikkomaiset teräkset levittävät säkin suun rypyttömäksi (Erkomat 2014).

Liikkeiden keskinäinen ajoitus on tärkeää sujuvan toiminnan kannalta. Ajoitusvirheiden seuraukset riippuvat siitä, mikä liike tapahtuu väärään aikaan ja kuinka paljon ajoitus on pielessä. Välttämättä virheellisestä ajoituksesta ei ole mitään haittaa, mutta se voi johtaa myös siihen, ettei nippi saa säkistä otetta ja suljenta ei onnistu tai joskus jopa osien törmäämiseen ja vaurioitumiseen. Viikkarit voivat törmätä säkin pitimien, nipin tai asetinlaitteen kanssa.

Suljentakoneisto

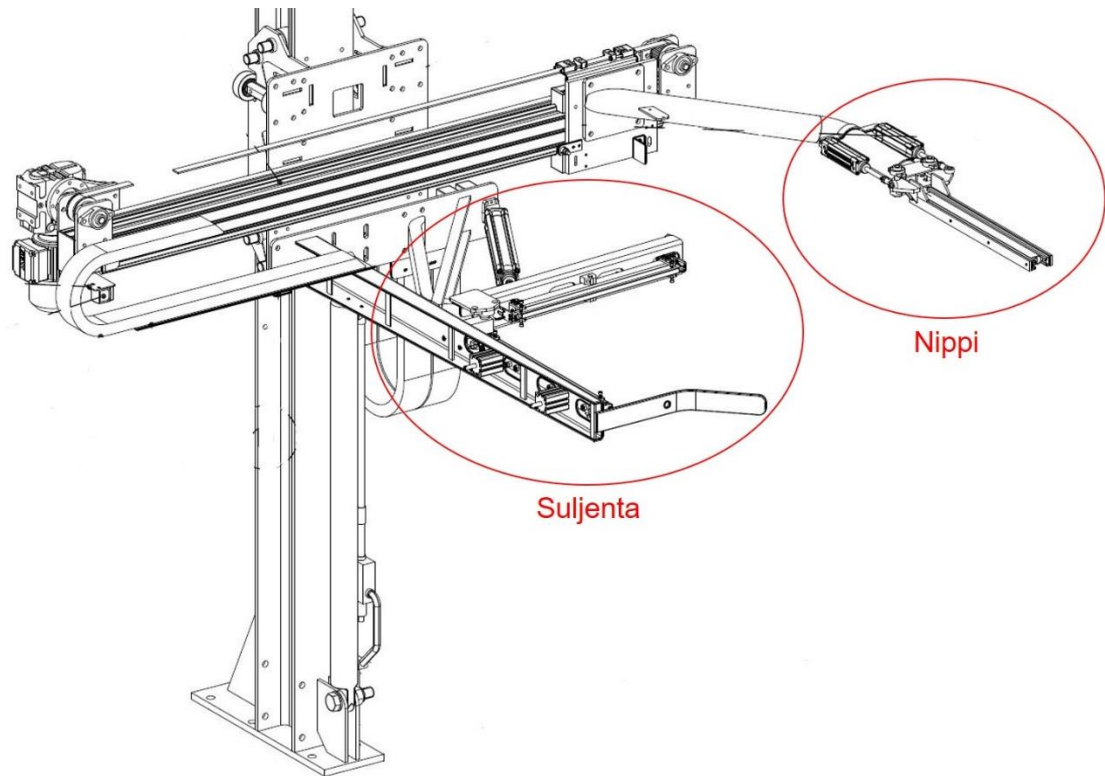
Suljentakoneisto koostuu nipistä ja suljennasta. Sen tehtävä on tarttua täytetyn säkin sisäsäkin suuhun, kuljettaa se saumausleukojen väliin ja sulkea säkin suu tiiviisti. Suljentakoneisto sijaitsee täyttöpään ja koukun välissä kuvan 21 mukaisesti. Nippiä ja suljenta on käsitelty erikseen omien otsikoiden alla.



Kuva 21. Suljentakoneiston sijainti säkityslinjassa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Nippi

Nipin tehtävä on tuoda säkin suu pystyssä piipulta saumausleukojen väliin samalla, kun säkki etenee hihnakuljettimella. Nippi koostuu kahdesta viikkarista, joita tässä työssä kutsutaan leuoiksi. Kuvassa 22 korostetut leuat sulkeutuvat ja avautuvat saranoidusti paineilmasylinterien avulla. Nipin horisontaalinen siirto on toteutettu johteita pitkin kulkevan kelkan avulla. Kelkkaa liikuttaa taajuusmuuttajalla ohjattu sähkömoottori hammas-hihnan välityksellä. Noutaessaan säkin suun nippi odottaa piipun tasalla ja sulkee leuat, kun piippu on noussut ylös säkistä, mutta viikkarit vielä levittävät säkin suuta. Näin ryppytömäksi levyksi venytetty säkin suu jää nipin leukojen väliin. Kun säkki lähtee etene-mään kuljettimella, nippi liikkuu samaa tahtia (kuvan 22 tilanne), vie säkin suun saumausleukojen väliin ja jää odottamaan saumauksen valmistumista. Saumauksen valmistuttua nipin leuat aukeavat samoihin aikoihin saumausleukojen kanssa, ja säkki siirtyy kuljettimella seuraavaan vaiheeseen koukun alle. Oikean toiminnan kannalta on tärkeää, että kaikkien liikkeiden ajoitukset ovat kunnossa, eivätkä liikkeet takkuile. Nipin johteet ovat suljentakoneiston kanssa kiinni samassa pystysuuntaan liikkuvassa kelkassa, joten nipin korkeus säätyy suljentakoneiston mukana. Nipin ja saumausleukojen välinen etäisyys korkeussuunnassa pysyy siis vakiona.



Kuva 22. Suljentakoneisto koostuu suljennasta ja nipistä. Nippi tuo säkin suun pii-pulta aukinaisten saumausleukojen väliin (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Suljenta

Suljennan tehtävä on sulkea sisäsäkin suu tiiviisti, jotta tuotteen joukkoon ei pääse vettä, kosteutta tai muita epäpuhtauksia. Suljentalaite koostuu kuvassa 22 korostetuista kahdesta suljentavarresta, joista toinen on kiinteä ja toinen liikkuu saranoidusti paineilmasynterin avulla. Suljentavarsissa on kiinni saumausleuat, joissa on sähköllä lämpenevät vastusnauhat. Vastusnauhojen päällä on teflonputki ja -teippi säkin ja saumausleukojen yhteen tarttumisen ehkäisemiseksi. Suljentakoneistoon kuuluvat myös paineilmakäyttöiset saumausleukojen kaksi paininsylinteriä ja pysäytinsylinteri. Koko suljentakoneiston korkeutta on mahdollista säätää hydraulisynterin avulla eri korkuisten säkkien mukaan. Hydraulisynteri saa käyttövoimansa hydraulikkayksiköltä, jonka toimintaa käsitellään omassa aliluvussaan. Säkin suljenta alkaa kuvan 23 tilanteesta, kun nippi on tuonut sisäsäkin suun avonaisten saumausleukojen väliin. Seuraavaksi suljentavarret sulkeutuvat ja pysäytinsylinteri lukitsee varret yhteen. Vastusnauhoja lämmitetään noin kolmen sekunnin ajan painaen samanaikaisesti saumausleukoja tiukasti yhteen paininsylinterien avulla. Säkki jää leukojen väliin puristuksiin ja sulaa kiinni lämmön vaikutuksesta. Tämän jälkeen saumausleuat aukeavat ja säkki siirtyy hihnakuljettimella koukun alle.



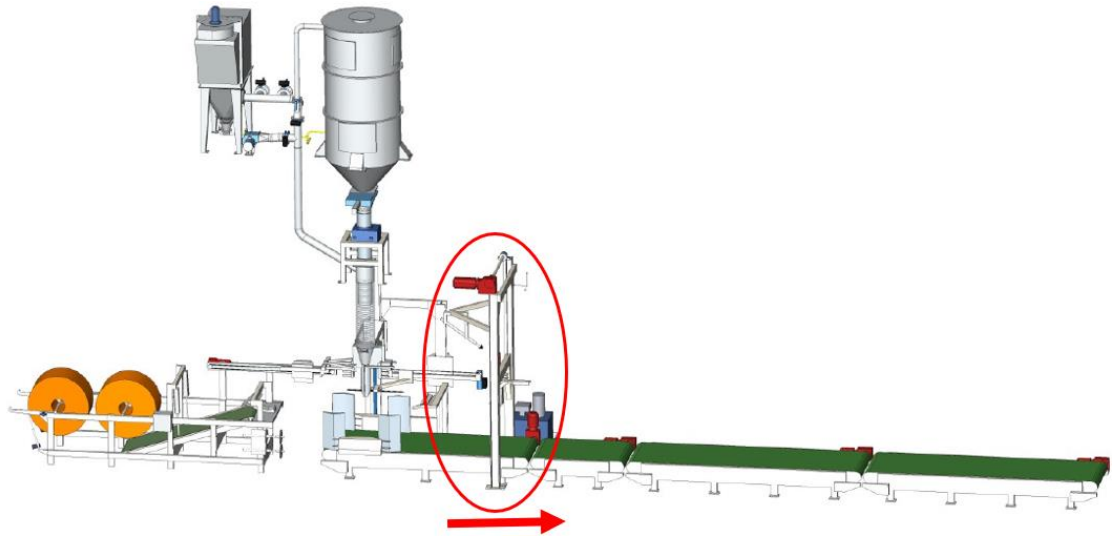
Kuva 23. Kuva tilanteesta, jossa nippi on tuonut säkin suun saumausleukojen väliin ja suljentavarsi on menossa kiinni.

Suljennan onnistumisen kannalta on kriittistä, että saumausleuat ovat kunnossa ja linjassa toisiinsa nähden. Vastusnauhojen tulee painua koko matkalta tasaisesti yhteen. Jos vastukset ovat eri tasossa, toinen vastuksista on kuopalla tai vastukset painautuvat yhteen vain toisesta päästä, säkki jää auki kokonaan tai osittain. Vastusnauhojen päällä olevan teflonnauhan tulee olla ehjä ja hyväkuntoinen, sillä sen kuluessa säkki tarttuu teflonnauhaan kiinni ja sen kuluessa puhki vastusnauha polttaa säkkiin reiän. Säkin suulaessa kiinni kuluneeseen teflonnauhaan ja lähtiessään hihnakuuljettimella eteenpäin säkki repeytyy irti saumausleuasta. Tästä voi aiheutua saumausleukojen vääntymistä, teflonteipin irtoamista tai vastusten linjavirhettä.

Koukku

Koukun tehtävä on nostaa täysi, suljettu säkki ilmaan ja kääntää sitä tarvittaessa 90 astetta. Koukulla tarkoitetaan yleisesti koko kuvassa 24 korostettua nosto- ja kääntöyksikköä (pois lukien pukkari), ei siis ainoastaan koukunmuotoiseksi taivutettua levyä, jonka varassa säkki roikkuu. Koukkuun kuuluu siten runko, jonka välissä oleva kelkka nousee

ja laskee vaihdemoottorin ja nostoliinojen avulla sekä kelkkaan kiinnitetty koukku kääntömekanismilla. Koukku kääntömekanismilla koostuu yläpäästään laakeroidusta, koukkuksi taivutetusta levystä, joka kääntyy paineilmasylinterin avulla. Koukkua ja sylinteriä pyörittää vaihdemoottori ketjun välityksellä. Koukkua ja siinä roikkuvaa säkkiä voidaan siis kääntää, pyörittää ja nostaa.

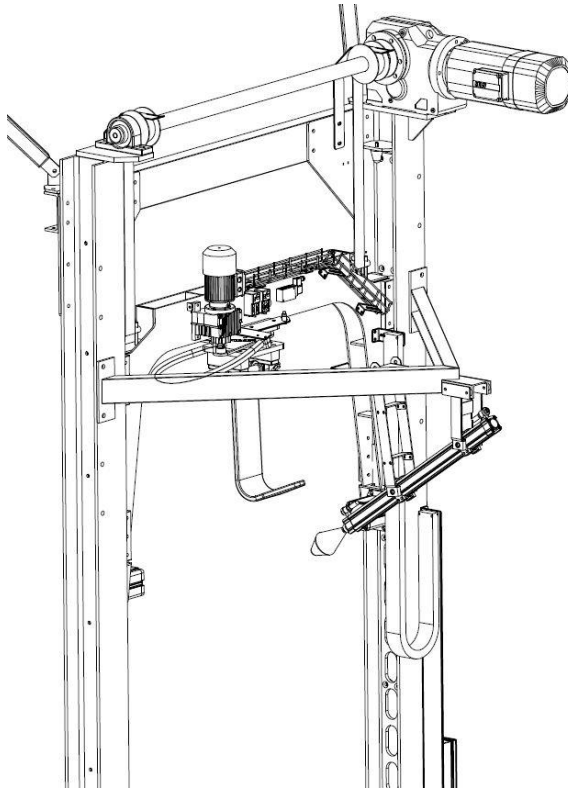


Kuva 24. Nosto- ja kääntöyksikön sijainti säkityslinjassa (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Kun täysi, suljettu säkki saapuu hihnakuljettimella koukun alle, koukku laskeutuu oikealle korkeudelle ja kääntyy ala-asentoon, jolloin koukun kärki pujottautuu säkin kahvan alle. Tämän jälkeen koukun kelkka nousee ylös nostaten säkin mukanaan sopivalle korkeudelle, jotta pukkari saa työnnettyä sisäsäkin suun ulkosäkin sisään. Säkki voidaan joko laskea suoraan alas hihnalle tai sitä voidaan tarvittaessa pyörittää jompaankumpaan suuntaan 90 astetta. Kun säkki on laskettu hihnalle, koukku kääntyy takaisin yläasentoon pois tieltä, säkin kahva jää pystyyn ja säkki jää seisomaan ryhdikkäästi keskelle hihnaa. Tästä säkit siirtyvät hihnakuljetinta pitkin leimauslaitteelle.

Pukkari

Nosto- ja kääntöyksikköön kuuluva pukkari eli sisäsäkin työntäjä työntää suljetun sisäsäkin suun ulkosäkin sisään suojaan. Pukkari koostuu yhdestä kiinteästä paineilmasylinteristä, jonka päässä on pyöreä nuppi. Pukkarin asentoa on mahdollista säätää manuaalisesti muuttamalla rungossa kiinni olevan sylinterin telineen kulmaa. Pukkari odottaa sisäasennossa, kunnes koukku on nostanut säkin ylös. Sitten pukkari työntyy nopeasti ulos työntäen sisäsäkin suun ulkosäkin sisään ja palaa takaisin sisäasentoon. Kuvassa 25 koukun kääntö on ala-asennossa, koukun kelkka yläasennossa ja pukkari sisäasennossa. Kun pukkari on suorittanut tehtävänsä, koukku pyörittää säkkiä 90 astetta tai laskee sen suoraan kuljetinhihnalle.



Kuva 25. Nosto- ja kääntöyksikkö tilanteessa, jossa kuviteltu säkki on nostettu ylös ja pukkari on valmiina työntämään sisäsäkin suun ulkosäkin sisään (Erkomat 2014).

Hihnakuljettimet

Hihnakuljettimia on ST731:llä viisi kappaletta ja ST752:lla neljä kappaletta. Ne ovat rakenteeltaan samanlaisia, mutta niitä on useita eri mittaisia. Hihnakuljettimien tehtävä on siirtää hihnan päällä olevia säkkejä eteenpäin säkityslinjalla. Ensimmäinen hihnakuljetin alkaa säkintäyttöpaikalta piipun alta ja viimeinen hihnakuljetin sijaitsee säkitysrakennuksen ulkopuolella katoksessa, josta kuormaaja noutaa valmiit säkit. Ensimmäisen kuljettimen vaihdemoottori on taajuusmuuttajakäyttöinen ja muut kuljettimet kontaktorikäyttöisiä. Hihnakuljettimissa on useita valosilmä, jotka tunnistavat säkkien sijainnit. Sujuvan toiminnan kannalta valosilmien tulee olla oikein suunnattuja sekä riittävän puhtaita.

Leimauslaite

Leimauslaite ei varsinaisesti kuulu säkityskoneeseen, vaan se on Eton-Finland Oy:n valmistama tuote. Leimauslaite on asennettu säkityskoneen hihnakuljettimen viereen heti koukun jälkeen ja toimii siten viimeisenä osana säkitysprosessia. Leimauslaitteen tehtävä on kirjoittaa jokaisen säkin kylkeen tunniste, joka on laatupäällikön mukaan lakisääteinen. Viranomaiset vaativat, että jokaisen säkin tulee olla jäljitettävissä ja lannoitteen valmistajan on pystyttävä pyydettäessä osoittamaan, mitä säkissä oleva tuote sisältää. Leimauslaiteessa on kaksi mustesuihkukirjoitinta, joista yleensä vain toinen suihkuttaa

säkin kylkeen halutun merkinnän säkin kulkiessa leimauslaitteen ohi. Leimauslaite odottaa saapuvaa säkkiä hihnakuljettimen päällä kuvan 26 mukaisesti. Saavuttuaan säkki painautuu leimauslaitetta vasten ja leimauslaite kiertyy säkin ympäri sen edetessä hihnakuljettimella. Mustesuihkukirjoitin pysyy tämän aikana vakioetäisyydellä säkin pinnasta. Leimattu säkki etenee hihnakuljettimella noutopisteelle, josta pyöräkuormaaja vie sen seuraavaan paikkaan. Kun leimauslaite kytketään pois päältä, sen kuuluu kääntyä itsestään sivuun pois hihnan päältä.



Kuva 26. Kuva tilanteesta, jossa säkki on juuri saapunut leimauslaitteelle ja jatkaa matkaansa hihnakuljettimella leimauslaitteen kiertessä säkin ympäri.

Hydrauliikkayksikkö

Hydrauliikkayksikkö luo käyttövoiman säkityskoneen hydraulisylintereille. Hydraulisylintereitä käytetään suljentakoneiston ja piipun korkeudensäätöön. Hydrauliikkayksikössä on releohjattuja magneettiventtiileitä, joiden avautumista ja sulkeutumista ohjaa automaattikka, kun suljentakoneiston tai piipun korkeutta säädetään. Hydrauliikkayksikkö sijaitsee lattiatasolla säkityslinjan ensimmäisen kuljettimen vierellä.

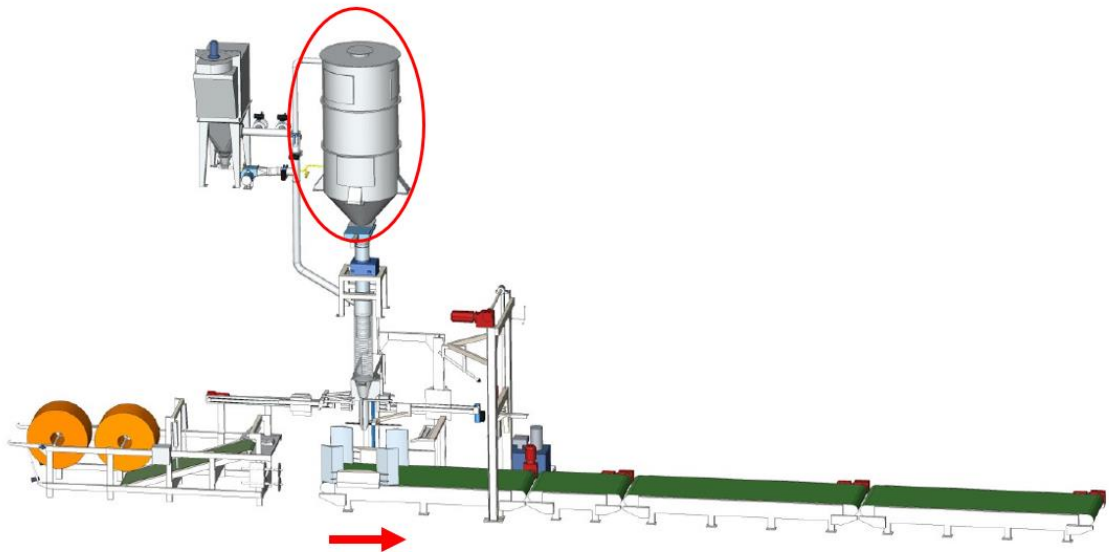
Taajuusmuuttajat

Nipin ja asetinlaitteen horisontaalisiirron vaihdemoottoreita, noutorullaimen kuljettimen rumpumootoria sekä piipun alla olevan ensimmäisen hihnakuljettimen vaihdemoottoria

ohjataan taajuusmuuttajilla. Nipin, asetinlaitteen ja noutorullaimen taajuusmuuttajat ovat olleet käytössä alusta saakka, mutta hihnakuljetin muutettiin taajuusmuuttajakäyttöiseksi toukokuussa 2018. Taajuusmuuttajia käsitellään tässä työssä omana alijärjestelmänä, koska taajuusmuuttajat ovat vikaantumisen näkökulmasta samanlaisia, eikä niistä tehdyissä vikailmoituksissa ole tietoa, minkä moottorin taajuusmuuttaja on kyseessä.

Vaaka

Säkkiin laitettavan lannoitemäärän punnitsemiseen käytettävä kaupallinen vaaka sijaitsee kuvan 27 mukaisesti muuta laitteistoa korkeammalla. Lannoite pudotetaan säkityskoneen yläpuolella olevasta siilosta vaakaan, jossa lannoitemäärä punnitaan. Punnituksen jälkeen lannoite pudotetaan välisuppiloon odottamaan pudottamista säkkiin. Kun kone on automaattisesti varmistanut säkin olevan hyvin piipulla ja logiikka antaa luvan, välisuppilo tyhjenetään haitariputken ja täyttöpään kautta säkkiin. Vaa'an toiminta tarkastetaan koepunnitsemalla täysiä säkkejä erillisellä vaa'alla. Koepunnitus tehdään työohjeen mukaan tunnin välein.



Kuva 27. Vaaka sijaitsee puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteiston kanssa muuta laitteistoa korkeammalla (perustuu lähteeseen Erkomat 2014).

Näytteenotin

Säkityskoneen vaa'an alaosassa on näytteenotin, joka kerää säkitettävästä tuotteesta näyte-erän tasaisesti koko säkityksen ajalta. Näytteenottimen toiminta ja vikaantuminen ei suoraan vaikuta koneen toimintaan, mutta myytävästä tuotteesta on pakollista ottaa aina näyte laboratorioanalyysiä varten. Ilman hyväksyttyä laboratorioanalyysiä tuotteella ei ole toimituslupaa, eikä se siten ole myyntikelpoista.

4. KÄYTETTÄVYYSSVAIKUTUSTEN MÄÄRITTÄMISEN VIKA- JA HÄIRIÖHISTORIAN AVULLA

Säkituskoneiden vioista kerätään dataa kahteen eri järjestelmään. Eri järjestelmiin kerättävät viat ovat luonteeltaan erityyppisiä. Toiminnanohjausjärjestelmään kerätty tieto on pääosin manuaalisesti syötettyä, ja sinne kirjattujen vikojen korjaustoimenpiteet vaativat usein runsaasti aikaa, varaosia ja kunnossapidon työpanosta. Vian kriittisyydestä riippuen säkituskone on vian korjaamiseksi pysäytettävä välittömästi tai suunnitellusti tuotantoa vähiten haittaavana ajankohtana. Säkituskoneiden omaan vikamuistiin puolestaan kirjautuu automaattisesti säkituskoneen logiikan tunnistamat toimintahäiriöt, jotka usein, mutta eivät aina, pysäyttävät automaattisesti koneen toiminnan. Nämä viat vaativat vain harvoin varaosia tai kunnossapidon apua, ja säkitys pääsee usein jatkumaan operaattorin avulla sekuntien tai joidenkin minuuttien kuluttua.

Kummankaan järjestelmän data ei ole sellaisenaan helposti luettavassa muodossa, vaan data vaatii käsittelyä, jotta siitä saadaan selville halutut tiedot. Molempien järjestelmien dataa käytetään eniten käytettävyyttä alentavien vikojen tunnistamisessa. Käytettävyyss-lukemat perustuvat joiltakin osin arvioihin ja oletuksiin, joten säkituskoneiden käytettävyyttä ei pystytä tarkasti määrittämään. Sen sijaan eri vikojen käytettävyyttä alentavien vaikutusten keskinäiseen vertailuun vikadatasta saa riittävän tarkkaa tietoa. Eniten käytettävyyttä alentavien vikojen tunnistaminen on tärkeää, jotta niiden ehkäisemiseksi voidaan määrittää tehokkaat ja tarkoituksenmukaiset toimenpiteet. Kohdentamalla toimet näihin vikoihin on mahdollista parantaa käytettävyyttä eniten.

Vikojen vaikutus käytettävyyteen K on laskettu seuraavasti:

$$K = \frac{\text{Käyntiaika}}{\text{Käyntiaika} + \text{Seisokkiaika}} \quad (2)$$

Käyntiaika = Aika, jolloin kohde suorittaa siltä vaadittua toimintoa.

Seisokkiaika = Odotusajan ja korjausajan summa, eli aika vikaantumishetkestä siihen, että laite on jälleen täysin käyttökunnossa.

Tässä työssä häiriöiden ja vikojen vaikutus käytettävyyteen on laskettu eri järjestelmistä kerätyn datan perusteella. Toiminnanohjausjärjestelmään kirjattuja vikoja tarkastettaessa on käyntiaika laskettu tilaustenhallintajärjestelmään kirjattujen tietojen avulla. Kunkin toistuvan vian aiheuttama seisokkiaika on määritetty kunnossapitäjien avulla. Häiriöilmoituksia tarkastellessa on käyntiajan laskemiseen tarvittavat tiedot saatu koneen

omasta häiriöilmoitushistoriasta ja kunkin häiriön aiheuttama seisokkiaika operaattoreita haastatteleamalla.

4.1 Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen

Toiminnanohjausjärjestelmän vikadataa on käytettävissä säkityskoneiden käyttöön-
otosta alkaen. Data perustuu järjestelmään tehtyihin vikailmoituksiin eli kunnossapito-
pyyntöihin. Periaate on, että aina, kun kunnossapidolle syntyy kustannuksia, täytyy vi-
kailmoitus olla tehtynä ja kunnossapitotoimista syntyneet kustannukset kohdistetaan
tälle viasta tehdylle vikailmoitukselle. Vikailmoitukset puolestaan kohdistetaan vikaantu-
neelle laitteelle toimintopaikkatunnuksen perusteella, jolloin vikailmoituksista syntyy lait-
teen vikaistoria. Toiminnanohjausjärjestelmässä näkyvät kustannukset koostuvat lä-
hinnä kunnossapitoasentajien työtunneista, varaosista sekä ulkopuolisten yritysten pal-
veluista. Tällöin kunnossapito henkilökuntaa tai varaosia vaativista vioista jää muistiin va-
paamuotoinen vian kuvaus, käytetyt varaosat, tehdyt työtunnit ja muut kustannukset.
Kunnossapidon työnjohdon kustannuksia, operaattorien suorittamia töitä tai viasta ai-
heutuvia välillisiä kustannuksia, kuten tuotannonmenetyskustannuksia, laatukustannuk-
sia tai menetettyä tuotantoaika ei kirjata vikailmoituksille, eikä muuallekaan.

Toiminnanohjausjärjestelmän vikadataa analysoitaessa tulee ottaa huomioon, että se on
lähes kokonaan ihmisten syöttämää, joten siinä esiintyy joitakin puutteita. Puutteita ai-
heuttaa esimerkiksi tilanteet, joissa vikailmoitusta ei tehdä ollenkaan, se tehdään tur-
haan, tai se kohdistetaan väärälle koneelle. Vikailmoituksiin syötetään usein myös vääriä
tietoja, kuten väärä määrä työtunteja ja varaosia tai tietoja jätetään kokonaan syöttä-
mättä. Toisinaan useammasta viasta on tehty vain yksi yhteinen vikailmoitus. Vain har-
vasta operaattorin korjaamasta viasta tehdään vikailmoitus, jolloin tieto viasta jää vain
operaattorille. Myös joitakin kunnossapitäjien suorittamia pienempiä töitä jää kirjaamatta,
sillä järjestelmä koetaan liian raskaaksi ja hitaaksi. Näiden syiden vuoksi tietojen kirjaus
varsinkin pienimmistä vioista on puutteellista ja vikadata antaa laitteen vikaantumisesta
todellista optimistisemmän kuvan.

Toiminnanohjausjärjestelmään on kirjattu suursäkityskoneita koskevia vikailmoituksia
yhteensä 624 kpl. Kun vikailmoituksista suodatetaan pois ne, joissa ei ole kyse varsinais-
esta säkityskoneeseen liittyvästä viasta, saadaan säkityskoneen vioista tehtyjen vikail-
moitusten määräksi 391 kpl. Tämä tarkoittaa keskimäärin noin kahdeksaa vikaa kuukau-
dessa eli yhtä vikaa joka viikko kummallekin koneelle. Säkityskoneeseen liittyviä vikail-
moituksia on edellisten lisäksi 69 kpl sellaisia, jossa ei ole kyse viasta, vaan esimerkiksi
varaosatilauksesta, modifikaatiosta tai suunnitellusta huoltopäivästä, jonka sisällöstä ei
ole tietoa. Säkityskoneille tehdyt vikailmoitukset on luokiteltu alijärjestelmittäin ja vian

aiheuttajittain. Luokittelu on tehty käsin käymällä vikailmoitukset yksitellen läpi. Vikojen luokittelussa on järjestelmään kirjatun datan lisäksi käytetty apuna pääosin kunnossapitohenkilökuntaa, mutta myös operaattoreita.

Kaikkien vikailmoitusten joukosta useimmin tapahtuvat, toistuvat viat on tunnistettu ja niiden vaikutus käytettävyyteen on laskettu. Vika on luokiteltu toistuvaksi, kun samasta viasta on kirjattu yli 4 vikailmoitusta, siis vähintään noin yksi vuodessa. Mikäli jonkun tunnistetun yksittäisen vian vaikutus käytettävyyteen on suuri, on siitä mainittu erikseen. Yksittäisellä vialla voi olla suuri vaikutus käytettävyyteen, jos esimerkiksi varaosaa ei ole varastossa ja sen toimitusaika on pitkä. Vikoja on käsitelty tarkemmin luvussa 5.

Taulukossa 1 on esitetty toistuviksi luokiteltavat viat, niiden määrä, vaikutus käytettävyyteen sekä kunkin vian aiheuttava alijärjestelmä. Näitä toistuvia vikoja on yhteensä 152 kpl eli noin 39 % kaikista vioista. Taulukkoon on merkitty väreillä, kuinka suuri käytettävyyttä alentava vaikutus häiriöllä on. Keltainen vastaa merkittävää ja vihreä väri pientä vaikutusta. Neljä eniten epäkäytettävyyttä aiheuttavaa toistuvaa vikaa poistamalla voidaan käytettävyyttä parantaa yli 1,33 %. Se on hieman enemmän, mitä 13 muun vian poistamisella voidaan yhteensä saavuttaa. Huomionarvoista myös on, että käsiajolla tapahtuvista törmäyksistä aiheutuneet viat ovat jakautuneet asetinlaitteelle, säkin pitimelle ja nipille. Törmäykset estämällä voidaan taulukon 1 perusteella käytettävyyttä parantaa 0,45 %.

Toistuvien vikojen vuoksi eniten epäkäytettävyyttä aiheuttavat alijärjestelmät ovat suljenta (0,65 %), asetinlaite (0,52 %) ja leimauslaite (0,36 %). Nämä kolme alijärjestelmää alentavat käytettävyyttä yhteensä 1,53 %. Kaikkien toistuvien vikojen yhteensä aiheuttama epäkäytettävyys on 2,75 %, joka on laskettu summaamalla jokaisen taulukkoon 1 listatun vian aiheuttamat epäkäytettävyydet.

Taulukko 1. Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen.

Alijärjestelmä	Unit	Vian kuvaus	Vikojen määrä [kpl]	Osuus kaikista vioista	Vian km. Korjausaika [min]	Kokonaisvaikutus tuotantoon [min]	Käytettävyys	Epäkäytettävyys
Noutorullain	Rullatuki	Kitasuojat/lukitus rikki	18	4,57 %	105	3168	99,68 %	0,32 %
	Säkin avaus	Valokenno rikki/säädöt	6	1,52 %	120	1146	99,88 %	0,12 %
	Asetinlaite	Törmäys käsiajolla	8	2,03 %	180	2008	99,80 %	0,20 %
		Kourien raja-anturien ongelmat	8	2,03 %	120	1528	99,84 %	0,16 %
		Säkitunnistusongelmat	8	2,03 %	120	1528	99,84 %	0,16 %
Täyttöpää	Säkin pidin	Törmäys käsiajolla	7	1,78 %	120	1337	99,86 %	0,14 %
Suljenta-koneisto	Nippi	Sylinterin kiinnikke murtunut	7	1,78 %	240	2177	99,78 %	0,22 %
		Nippi vääntynyt/kiero (törmäys)	5	1,27 %	150	1105	99,89 %	0,11 %
	Suljenta	Saumausleukojen korjaus/huolto	30	7,61 %	120	5730	99,42 %	0,58 %
		Lukitustapin kohdistusongelma	4	1,02 %	90	644	99,93 %	0,07 %
Koukku		Koukun käännön rajaongelmat	4	1,02 %	30	404	99,96 %	0,04 %
Hihnakuljettimet		Hihna kulkee vinossa	4	1,02 %	120	764	99,92 %	0,08 %
Leimauslaite		Leimauslaite vinossa	15	3,81 %	45	1740	99,82 %	0,18 %
		Kirjoitin vinossa	9	2,28 %	30	909	99,91 %	0,09 %
		Kirjoitin ei toimi/kirjoittimen vaihto	6	1,52 %	75	876	99,91 %	0,09 %
Hydrauliikkayksikkö		Mag.venttiilivika: ohjausrelevika tai epäpuhtaus	7	1,78 %	120	1337	99,86 %	0,14 %
		Kohdentamaton vuoto. Yleensä painemittarista	6	1,52 %	30	606	99,94 %	0,06 %
Yhteensä			152	38,58 %		27007	97,25 %	2,75 %

Seisokkiaika on vian keskimääräisen korjaukseen tarvittavan ajan ja kunnossapidon reagointiajan summa. Toisin sanoen se on aika vikaantumishetkestä siihen, että laite on jälleen täysin käyttökunnossa. Keskimääräiseksi reagointiajaksi on kunnossapitopäällikön arvioiden perusteella laskettu 71 minuuttia. Laskennallinen reagointiaika ottaa huo-

mioon myös tilanteet, joissa kunnossapitoa tarvitaan kunnossapitohenkilökunnan normaalien työaikojen ulkopuolella. Vikojen korjausaikojen arvioinnissa on käytetty apuna kunnossapitohenkilökuntaa heitä haastatteleamalla. Toiminnanohjausjärjestelmän vikailmoitushistoriassa on myös toistuvia vikoja, jotka on jo aikaisemmin tehdyillä toimenpiteillä saatu poistettua tai vähennettyä siedettävälle tasolle. Tällaisilla vioilla ei ole enää vaikutusta koneen toimintaan, joten niiden vaikutusta käytettävyyteen ei ole määritetty, eikä parannustoimenpiteitä esitetty.

Koneessa ei ole käyttötuntimittaria, mutta kone näyttää säkittyjen säkkien kokonaiskappalemäärän ja kokonaistonnimäärän. Tilaustenhallintajärjestelmässä on koneiden käyttöönnotosta alkaen tiedot jokaisen säkityserän määrästä ja kestosta, mistä voi laskea säkityserän keskimääräisen tuotantotehon. Tuotantoerien keskimääräisistä säkitystehoista voi taas laskea tuotantotehon painotetun keskiarvon koko koneen elinaikana. Laskeissa on käytetty molempien koneiden yhteistä tuotantotehon painotettua keskiarvoa. Kun kokonaistuotantomäärä jaetaan keskimääräisellä säkitysteholla, saadaan osamääränä käytettävyyden laskemiseen tarvittava koneen käyntiaika.

Vikojen vaikutusta käytettävyyteen arvioitaessa on syytä muistaa, että kaikki viat eivät vaikuta tuotantoon, vaikka ne käytettävyyteen vaikuttavatkin. Jotkin korjaukset voidaan nimittäin suorittaa suunnitelmallisesti sellaisena ajankohtana, jolloin korjaukset eivät haittaa tuotantoa. Tuotannolla on reilusti ylikapasiteettia, ja kaikkia lajikkeita voidaan säkittää kummallakin koneella. Kaikki säkitykset voidaan teoriassa hoitaa yhdelläkin koneella, jos toinen kone on pois käytöstä. Säkityskoneet sijaitsevat kuitenkin eri rakennuksissa, joten tuotannon resurssivastaavan mukaan logististen haasteiden välttämiseksi molempien koneiden on hyvä olla käytettävissä. Kuitenkin viat, jotka pysäyttävä koneen tai joiden vuoksi kone on pysäytettävä ensi tilassa, vaikuttavat lähes aina tuotantoon, sillä ne tapahtuvat juuri silloin, kun tuotanto on käynnissä ja säkitystä pitää päästä jatkamaan.

4.2 Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen

Koneiden omaan häiriöhistoriaan tallentuu kaikki koneen automaattisesti antamat hälytykset. Hälytyshistoriasta on mahdollista selvittää kunkin häiriöin esiintymistaajuus, ajankohta sekä säkityksen keskeyttävien häiriöiden määrä. Hälytyshistoriasta voi myös tietyn varauksin päätellä, milloin säkityskone on ollut toiminnassa. Hälytyshistoria jostain syystä nollautuu ajoittain, jonka vuoksi useamman viikon ajanjaksolta kerättyä dataa on käytettävissä vain toisesta koneesta (ST752) 102 päivän ajalta.

Häiriöiden vaikutusta käytettävyyteen laskettaessa on tarvittava käyntiaika määritetty käyttämällä häiriöilmoitushistoriaa, sillä siinä on tarkin mahdollinen käyntiajasta saatavilla oleva tieto. Kone antaa häiriöilmoituksia vain silloin, kun säkitys on käynnissä. Eli kun häiriöilmoitus on kirjautunut, tiedetään, että kone on ollut silloin käynnissä. Toisaalta häiriöilmoituksia tulee niin usein (noin 80 %:n todennäköisyydellä alle 10 min välein), että on todennäköistä, ettei kone ole ollut käynnissä, jos häiriöilmoitusten välinen aika on yli 1 tunti. Kun lasketaan yhteen ajanjaksot, jolloin häiriöilmoituksia on tullut usein, saadaan tietää koneen käyntiaika tarkasteluvälillä. Samalta tarkasteluväliltä katsotaan, kuinka monta kertaa kukin häiriöilmoitus on ilmaantunut. Kun tarkasteluvälin häiriöilmoitusten määrä ja sen aiheuttama keskimääräinen tuotantokatkos kerrotaan, saadaan laskettua kustakin häiriöstä aiheutuva seisokkiaika tarkasteluvälillä.

Operaattorien avulla on arvioitu, kuinka pitkän tuotannon pysähdyksen kukin häiriöilmoitus keskimäärin aiheuttaa. Pysähdysten aiheuttamaa seisokkiaikaa arvioitaessa on odotusajaksi oletettu 0 min, sillä operaattori on koneen välittömässä läheisyydessä ja pääsee viivytyksettä aloittamaan toimenpiteet tuotannon jatkamiseksi. Häiriöilmoitusten aiheuttajien tunnistamisessa on käytetty apuna pääosin operaattoreita, mutta myös kunnossapitohenkilöstöä sekä laitevalmistajan asiantuntijoita.

Häiriöilmoituksia mittausjaksolla on tullut yhteensä 9 435 kpl. Kone kirjaa kuitenkin monesti useamman häiriöilmoituksen kerralla, joten todellisempi kunkin häiriöilmoituksen lukumäärä saadaan, kun suodatetaan pois sellaiset samat häiriöilmoitukset, jotka ovat kirjautuneet alle 10 sekunnin välein. Laskelmat ottavat siis huomioon vain sellaiset häiriöilmoitukset, joita ennen sama häiriöilmoitus on tullut vähintään 10 sekuntia aikaisemmin. Toisin sanoen saman häiriön häiriöväli tulee olla yli 10 sekuntia. Todellisempi lukema häiriöistä on siten 4 782 kpl.

Taulukossa 2 on esitetty ne häiriöt, joiden vaikutus käytettävyyteen on yli 0,01 % sekä niiden määrä, vaikutus käytettävyyteen ja häiriön aiheuttava alijärjestelmä. Näitä häiriöilmoituksia on yhteensä 4595 kpl eli 96 % kaikista häiriöilmoituksista. Taulukkoon on merkitty väreillä, kuinka suuri käytettävyyttä alentava vaikutus häiriöllä on. Punainen vastaa suurta, keltainen merkittävää ja vihreä väri pientä vaikutusta. Taulukon 2 tietojen perusteella neljä eniten epäkäytettävyyttä aiheuttavaa häiriötä poistamalla voidaan käytettävyyttä parantaa yli kolme kertaa enemmän kuin 11 muun häiriön poistamisella yhteensä.

Häiriöiden vuoksi eniten epäkäytettävyyttä aiheuttavat alijärjestelmät ovat koukku (2,45 %), asetinlaite (1,93 %) ja säkin pitimet (1,08 %). Nämä kolme alijärjestelmää alen-

tavat käytettävyyttä yhteensä 5,47 %. Kaikkien häiriöiden yhteensä aiheuttama epäkäytettävyys on 7,96 %, joka on laskettu summaamalla jokaisen taulukkoon 2 listatun häiriön aiheuttamat epäkäytettävyydet.

Taulukko 2. Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen.

Häiriöilmoituksen teksti	Alijärjestelmä	Häiriöilmoituksen määrä	Häiriöiden määrä (Häiriöväli yli 10s)	Häiriöiden määrä %	Keskimääräinen korjausaika (min)	Korjauksiin kulunut aika yht. (min)	Käytettävyys	Epäkäytettävyys
Häiriö säkin viennissä (Paina kuittaus-painikkeesta)	Säkin avaus / kuljetin	2293	1276	27,77 %	0,33	425,33	98,72 %	1,28 %
Virhe säkin viennissä	Asetin-laite	2431	1220	26,55 %	0,50	610,00	98,18 %	1,82 %
Asetinlaitteen aukaisukourat eivät aukiasennossa (S22.2,S22.3)	Asetin-laite	31	24	0,52 %	0,50	12,00	99,96 %	0,04 %
Alarm 3555 Oikea koura ei auki asennossa (S22.3)	Asetin-laite	75	52	1,13 %	0,50	26,00	99,92 %	0,08 %
Portit eivät auki (S23.0, S23.1, S23.2 tai S23.3)	Säkin oikaisin	279	173	3,76 %	0,08	14,42	99,96 %	0,04 %
Säkin pullistuksen painekytin ei tunne	Puhallus	70	42	0,91 %	5,79	243,00	99,27 %	0,73 %
Ei säkin tunnistusta säkityspiipulla (S25.7)	Säkin pidin	694	359	7,81 %	1,00	359,00	98,92 %	1,08 %
Suljenta häiriö	Suljenta	6	3	0,07 %	10,00	30,00	99,91 %	0,09 %
Säkin nosto virhe, koukku ei saanut säkkiä	Koukku	1833	835	18,17 %	0,75	626,25	98,13 %	1,87 %
Koukun kääntö ei ylä-asennossa (S24.0)	Koukku	273	159	3,46 %	0,75	119,25	99,64 %	0,36 %
Koukun kääntö ei ala-asennossa (S24.1)	Koukku	198	79	1,72 %	0,75	59,25	99,82 %	0,18 %
Koukun kääntö ei ylä-asennossa (S24.0)	Koukku	69	31	0,67 %	0,50	15,50	99,95 %	0,05 %
Annostelu, toleranssi virhe	Vaaka	727	331	7,20 %	0,17	55,17	99,83 %	0,17 %
Moottorisuoja lauennut	Sähkö-moottorit	15	7	0,15 %	5,00	35,00	99,89 %	0,11 %
Invertteri häiriö	Invertteri	6	4	0,09 %	5,00	20,00	99,94 %	0,06 %
Yhteensä		9000	4595	100 %		2650,17	92,04 %	7,96 %

4.3 Haastattelujen kuvaus

Työn yhtenä tutkimusmenetelmänä on käytetty haastatteluja. Haastattelujen tavoite on kerätä säkityskoneista kvalitatiivista tietoa ja käyttää sitä olemassa olevan datan tukena sekä tarvittaessa datan täydentämiseen. Haastattelut on suoritettu syvähaastatteluina vapaamuotoisesti keskustelemalla kasvokkain, puhelimessa tai sähköpostin välityksellä eri osa-alueiden asiantuntijoiden kanssa. Haastattelija on ohjannut keskustelua tutkimusintressin ja esille tulleiden kiinnostavien tietojen mukaan, jotta haluttu tieto on selvinnyt riittävän tarkasti. Haastatteluissa on myös tullut esille paljon hiljaista tietoa, jota ei ole kirjattu mihinkään tai jota ei käytettävissä olevasta datasta voi päätellä. Kysymyslomakkeita ei ole käytetty, eikä haastattelukysymyksiä ole tarkoin etukäteen määritetty.

Ensimmäiset tätä työtä varten tehdyt haastattelut ajoittuvat vuoden 2019 alkuun, ja niissä on kyse pääosin säkityskoneiden taustatietojen ja toimintaympäristön selvittämisestä. Työn edetessä haastatteluja on jatkettu syvällisemmin keväällä ja kesällä muun muassa laitteiston yksityiskohtaisempaan toimintaan, toimintavirheisiin, vikailmoitusten sisältöön, vikojen vaikutusten sekä korjausten keston arviointiin liittyvissä asioissa. Myös alkusyksyyn 2019 ajoittuu yksittäisiä haastatteluja. Samasta aiheesta on monesti tehty useita haastatteluja työn edetessä, kun työssä tarvittavat yksityiskohdat ovat selvinneet tai aikaisemmassa haastattelussa saaduissa tiedoissa on havaittu puutteita.

Osassa haastatteluista samoja asioita on kysytty useammalta henkilöltä eri näkökulmien esiin tuomiseksi, ja joissain asioissa on riittänyt yhden asiantuntijan lausunto. Haastateltavat ovat pääosin olleet yhtä mieltä asioista. Mikäli kuitenkin haastatteluissa on esiintynyt ristiriitaista tietoa haastateltavien välillä tai haastattelujen ja datan tai muiden tietolähteiden välillä, on haastatteluja tai tiedonkeruuta jatkettu, kunnes asian todellinen tila on selvinnyt. Yleensä haastateltavana on ollut kerrallaan vain yksi henkilö, mutta joissain asioissa, kuten vikailmoitusten sisällön ja korjausaikojen selvittämisessä on paikalla ollut samanaikaisesti kahdesta kolmeen haastateltavaa.

Osa haastatteluista on tehty koneiden äärellä laitteiston käydessä, jolloin koneen toiminnan ja toimintavirheiden samanaikainen tarkkailu on ollut mahdollista. Haastattelujen kesto on aihealueen laajuudesta ja yksityiskohtaisuudesta riippuen vaihdellut muutamasta minuutista useampaan tuntiin. Varsinaisia haastattelukertoja on yhteensä nelisenkymmentä ja sähköpostikeskusteluja useita kymmeniä. Haastateltavat ovat kohdeyrityksen henkilökuntaa sekä laitetoimittajan asiantuntijoita. Haastateltuja henkilöitä on yhteensä 33, joista operaattoreita 10, kunnossapitohenkilökuntaa 6 ja laitetoimittajan eri asiantuntijoita 4.

5. LAITTEISTON VIKAANTUMINEN, ANALYYSI JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Tässä luvussa käsitellään kahden automaattisen suursäkityslinjan, ST731:n ja ST752:n alijärjestelmien vikahistoriaa, yleisimpiä vikoja ja häiriöitä sekä toiminnan parantamiseksi suositeltavia toimenpiteitä. Laitteisto on käsitelty alijärjestelmittäin tai tarvittaessa aliyksiköittäin omissa aliluvuissaan. Säkityskoneen noutorullaimen aliyksiköistä kuljetin, säkin avauskoneisto ja asetinlaite on valittu yksityiskohtaisemman RCM-analyysin kohteiksi, sillä näiden on havaittu alentavan eniten käytettävyyttä. Tässä työssä määriteltyjen kriteerien perusteella näiden kolmen aliyksikön vaikutus käytettävyyteen on 3,84 %–5,06 % riippuen laskentatavasta (siitä, kuinka suuri osa säkin pitimien säkintunnistusongelmista johtuu todellisuudessa jo aikaisemmista vaiheista), kun kaikkien alijärjestelmien yhteisvaikutus käytettävyyteen on 10,69 %. RCM-analyysissä käsitellyt kolme aliyksikköä aiheuttavat siis noin 40 % koneen epäkäytettävyydestä. Edellä mainituissa luvuissa ei ole huomioitu satunnaisten vikojen vaikutusta käytettävyyteen.

RCM-analyysiin otettavan laitteiston valinnan perusteena on käytettävyyksivaikutuksen lisäksi käytetty vikojen ja toimintahäiriöiden aiheuttajia sekä henkilökunnan haastateluista saatuja tietoja. Koukkua ei suuresta epäkäytettävyyksivaikutuksesta huolimatta katsottu tarpeelliseksi ottaa mukaan RCM-analyysiin, koska sen suurimmat käytettävyyttä alentavat ongelmat aiheutuvat pääosin huonosta säkkilaadusta. RCM-analyysin ulkopuolelle jäävät alijärjestelmät on käsitelty samalla periaatteella, mutta kevyemmin ja ilman systemaattista listausta.

RCM-analyysiin sisältyy menetelmät vikapuuanalyysi sekä vika- ja vaikutusanalyysi, jotka on esitelty tarkemmin teoriaosuudessa aliluvuissa 2.6 ja 2.7. Vikapuuanalyysiä on käytetty osana vika- ja vaikutusanalyysiä vikojen juurisyiden tunnistamisessa. Vika- ja vaikutusanalyysissä on tarkasteltu kunkin vikamuodon toteutumisen vaikutuksia, seurauksia sekä niiden suuruutta, ja ne on listattu RCM-informaatiolomakkeelle. Vika- ja vaikutusanalyysin tietojen perusteella ja RCM-päätöskaavion avulla on määritetty kullekin vikamuodolle parhaiten soveltuvat kunnossapitomenetelmät. Nämä on listattu vikamuotokohtaisesti RCM-päätöslomakkeelle. Kuljettimesta, säkin avauskoneistosta sekä asetinlaitteesta tehty vikapuuanalyysi on tämän työn liitteenä 1, vika- ja vaikutusanalyysi liitteenä 2 ja RCM-päätöslomake liitteenä 3.

Tässä työssä tehty vikapuu on kvalitatiivinen eli laadullinen. Kvantitatiivista vikapuuta ei käsitellä, sillä säkityskoneiden komponenttien vikaantumistodennäköisyyksistä tai muiden perussyiden todennäköisyyksistä ei ole tietoa. Tässä työssä vikapuuanalyysiä on käytetty säkityslinjan pysäyttävien juurisyiden selvittämiseen ja siitä saatuja tietoja on hyödynnetty VVA-analyysissa. Vikapuun huipputapahtumaksi on valittu ”säkitys keskeytyy”. Säkityskoneesta tehdyn vikapuun laajuus osoittaa, että tuotannon pysäyttäviä tapahtumaketjuja on paljon. Lisäksi vikapuu havainnollistaa hyvin sen, että suurin osa tunnistetuista juurisyistä riittää toteutuessaan yksinään pysäyttämään koko tuotannon. Tällainen laitteisto on luonteeltaan erittäin vikaherkkä. Vikapuuanalyysi tukee havaintoja koneen epäluotettavuudesta.

Vika- ja vaikutusanalyysin korjausaika-arvioissa oletuksena on, että tarvittava talon oma kunnossapitohenkilöstö ja muut resurssit ovat käytettävissä normaalisti heidän ollessa työvuorossa. Odotusaikaa ei siis ole huomioitu korjausaikaa määritettäessä. Oletuksena on myös, että varastossa pidettäväksi merkityt varaosat, ovat todella varastossa. Jos merkittyjä varaosia ei olekaan saatavilla, vika tapahtuu vapaapäivinä, yöllä tai kunnossapitohenkilöstö on varattu muihin tehtäviin, seisokkiajat luonnollisesti pitenevät odotusajan kasvaessa.

Vika- ja vaikutusanalyysissä on Moubrayn mukaan parempi laskea seisokkiaika pahimman mahdollisen skenaarion mukaan, eli esimerkiksi viikonloppuyönä tapahtuvan vian mukaan. Samoin hänen mukaan analyysissä on parempi käyttää seisokkiaikaa (downtime) kuin keskimääräistä korjausaikaa (engl. *Mean Time To Repair (MTTR)*). (Moubray 1997, s. 75.) Moubray esittämästä poiketen on tämän työn vika- ja vaikutusanalyysissä soveltuvimmaksi todettu keskimääräisen korjausajan määrittäminen. Tämä sen vuoksi, että korjaukset ovat yleensä lyhytkestoisia – pääasiassa muutamia tunteja. Keskimääräiset korjausajat kuvastavat paremmin vikojen seurauksia, ja seurauksista saadaan näin vertailukelpoisempia. Esimerkiksi kahden eri kuvitellun vian korjausajat ovat 1 h ja 3 h, jolloin voidaan helposti havaita, että jälkimmäisen vian vakavuus on selkeästi suurempi. Jos samat viat tapahtuvat esimerkiksi perjantai illalla, voi samojen vikojen aiheuttamat seisokkiajat olla 61 h ja 63 h, jolloin vikojen seurausten vakavuudet vaikuttavat olevan kutakuinkin samat. Keskimääräistä korjausaikaa käytettäessä on vikojen keskinäinen vertailu helpompaa.

Taulukoissa 3–23 on esitetty kunkin alijärjestelmän vikailmoitusmäärä ja vikailmoituksille kertyneet kustannukset sekä niiden jakautuminen koneiden välillä. Taulukoissa on myös 102 päivän tarkastelujaksolla kirjautuneiden häiriöilmoitusten määrä sekä tieto vikojen ja häiriöiden vaikutuksesta käytettävyyteen. Merkintä ”Ei merkitystä” tarkoittaa, että vikojen tai häiriöiden vaikutus käytettävyyteen on niin pieni, ettei sitä ole huomioitu. Merkintä N/A

puolestaan tarkoittaa, ettei alijärjestelmästä ole kirjattu vikoja tai tarkastelujaksolla häiriöilmoituksia ei ole kirjautunut ollenkaan.

5.1 Rullatuki

Rullatuista tehtyyn yhteenvetotaulukkoon 3 kerättyjen tietojen perusteella rullatuista on tehty kohtalaisesti vikailmoituksia ja niillä on kohtalainen vaikutus käytettävyyteen. Kustannukset ovat maltilliset, mutta toisaalta rullatuet ovat yksinkertaisia rakenteeltaan ja toiminnaltaan. Häiriöilmoituksia rullatuista ei aiheudu.

Taulukko 3. Yhteenveto rullatukien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Rullatuki	Vikailmoitukset [kpl]	12	6	0	18
	Vikakustannukset [€]	2 901 €	1 037 €	0 €	3 938 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,32 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Koko noutorullaimen yleisin yksittäinen, korjauksia vaativa vika on rullatukien rikkoutuminen. Jokaisessa 18:ssa rullatukia koskevassa vikailmoituksessa rullatuet ovat mekaanisesti rikkoutuneet, ja kunnossapitäjien haastattelun perusteella kyse on poikkeuksetta käyttövirheestä. Rullatukiin ei koneen toimiessa kohdistu rasitusta, joka voisi aiheuttaa tapahtuneita vaurioita. Rullatuet hajoavat, kun säkkirullaa vaihdettaessa rullatukien lukitusta ei avata ennen kuin tyhjää säkkirullaa nostetaan kattonostimella. Toinen käyttövirheestä johtuva rikkoutuminen tapahtuu, kun uutta säkkirullaa tuodaan nostimen avulla ja se asetetaan varomattomasti paikoilleen rullatukien päälle. Painava säkkirulla hajottaa rullatukien kitasuojat törmätessään niihin. Käyttövirheitä on esiintynyt tasaisesti alusta alkaen ja niiden määrä on jopa lisääntynyt vuonna 2018. Varaosina kitasuojia on kulunut yhteensä 4 kpl, joista viimeinen heinäkuussa 2017. Tämän jälkeen kitasuojat on valmistettu itse, joten todellista varaosien määrää ei ole tiedossa. Kitasuojien lukitusmekanismien laakeriyksiköitä on kulunut 10 kpl.

Rullatuista johtuvia toiminnallisia ongelmia ei ole tullut esille – kunhan ne ovat ehjiä. Rikkinäinen rullatuki ei pidä säkkirullaa suorassa ja vääntynyt lukitusmekanismi ei toimi, jolloin rulla-akseli nousee pois paikoiltaan. Kitasuojien rikkoutuminen ei suoraan vaikuta

tuotantoon, mutta suojien puuttuminen on turvallisuusriski, jolloin säkitys tulee keskeyttää ja suojat korjata. Rullatuissa ei ole toimintaa valvovia antureita, eivätkä ne siten voi aiheuttaa häiriöilmoituksia.

Nostimen kanssa aiheutettujen toistuvien vahinkojen välttämiseksi tarvitaan sellainen ratkaisu, ettei nostinta väärin käyttämällä ole mahdollista aiheuttaa vahinkoa. Rullatukien rakenteen tulee olla nostimen kestävä, tai vaihtoehtoisesti nostimeen tarvitaan suojamekanismi, joka estää rulla-akselin nostamisen tai rajoittaa nostovoimaa, kun rullatukien lukitus on kiinni. Yksinkertaisin toteutuskelpoinen ratkaisu on vaihtaa nykyinen nostin pienempään, jolloin itse rullatukia ei välttämättä tarvitse muuttaa järeämmiksi. Täysi säkirulla painaa rulla-akseleineen ja nostorautoineen alle 400 kg, joten nostimen kapasiteettia voi pienentää alle puoleen nykyisestä 1000 kg:sta.

Kitasuojien hajoamisen varalle tulee tehdä molemmille koneille valmiit varaosat. Kitasuojat on helppo ja nopea vaihtaa, ja operaattorit voivat hyvin suorittaa vaihtotyön. Tällöin tuotannon keskeytys pysyy mahdollisimman lyhyenä, kun aikaa ei kulu kunnossapidon odottamiseen. Vaihtotyötä varten kannattaa tehdä myös työohje ja hankkia tarvittavat työkalut varaosien läheisyyteen sovittuun paikkaan koneiden lähelle.

Kitasuojat maksavat valmiina 300–400 €/kpl, joten niitä on alettu valmistaa itse. Monimutkaisen muotoisten kappaleiden tekemiseen kuluu kuitenkin pienestä koosta huolimatta paljon työtunteja. Muoviset ja monimutkaiset kappaleet ovat todennäköisesti vaivattomin ja halvin valmistaa 3D-tulostimella, jonka hankkimista kannattaa vakavasti harkita muitakin vastaavia tilanteita ajatellen. 3D-tulosteina ne voidaan helposti valmistaa yksiosaisiksi ja muotoilla nykyistä kestävämmiksi. Kitasuojat voi myös valmistaa hieman joustavasta materiaalista, jolloin ne kestävät paremmin kevyitä iskuja. Tulosteina varaosien hankkimisesta ei tule kustannuskysymys, ja niitä voi tarvittaessa tulostaa lisää, jolloin niitä on aina saatavilla.

5.2 Nauhakelaimien

Nauhakelaimien yhteenvetotaulukko 4 osoittaa, ettei nauhakelaimilla ei ole merkittävää vaikutusta käytettävyyteen, vaikka vikailmoituksia on tehty kohtalaisesti. Vikojen kustannukset ovat pysyneet maltillisina. Häiriöilmoituksia nauhakelaimet eivät aiheuta.

Taulukko 4. Yhteenveto nauhakelaimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Nauhakelaimien	Vikailmoitukset [kpl]	3	8	3	14
	Vikakustannukset [€]	831 €	1 620 €	729 €	3 179 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Kolmessa vikailmoituksessa on kyse molempia koneita koskevasta tarviketilauksesta. Toiminnanohjausjärjestelmään kirjatut viat ovat yksittäisiä. Vikoina on ollut mm. satunnaisia vuotoja, kulumaa tai vikaa paineensäätimessä. Yhtä selkeää syytä tai ongelma-kohtaa ei nouse esille. Nauhakelaimessa ei ole toimintaa valvovia antureita, eikä se siten voi aiheuttaa häiriöilmoituksia.

Nauhakelaimen ei ole säilyksen kannalta kovin kriittinen yksikkö. Alentunut suorituskyky ei vielä pysäytä tuotantoa, ja jos toinen kelaimista pysähtyy kokonaan, voidaan molemmat nauhat laittaa väliaikaisesti kelaamaan samaan kelaimeen. Kelautumista tasaavan sylinterinkään toimimattomuus ei pysäytä tuotantoa. Näistä aiheutuu ainoastaan ylimääräistä työtä operaattorille tai satunnaisia tuotantokatkoksia, jos löysä nauha pääsee väärään paikkaan. Tuotannon pysäyttävä tilanne syntyy vasta, kun kumpikaan kela ei pyöri. Haastatteluissa ei ole tullut esille nauhakelainta koskevia toistuvia ongelmia.

Näiden tietojen perusteella ei nauhakelaimelle ole tarvetta tehdä ennakoivia kunnossapitotoimenpiteitä. Paras huoltostrategia on RTF. Korjataan siis vasta, kun laitteessa havaitaan vika. Vikoihin on varauduttu pitämällä tarvittavat varaosat varastossa, eikä varaosapuutteita havaittu.

5.3 Kuljetin

Kuljetin on yksi kolmesta aliyksiköstä, jossa vikaantumisen syitä ja seurauksia on analysoitu sekä tarvittavat toimenpiteet määritetty RCM-prosessin mukaisesti. Kuljettimesta tehdyt vikapuuanalyysi, vika- ja vaikutusanalyysi, sekä RCM-päätöslomake ovat tämän työn liitteinä (liitteet 1, 2 ja 3). Liitteissä kuljetinta koskevat asiat on käsitelty tässä esitetyä yksityiskohtaisemmin.

Taulukossa 5 esitetyn kuljettimesta tehdyn yhteenvedon perusteella on kuljettimesta tehty vain vähän vikailmoituksia, ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön. Myös

aiheutuneet kustannukset ovat pienet. Kuljettimesta aiheutuneita häiriöilmoituksia puolestaan on runsaasti, ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkittävä.

Taulukko 5. Yhteenveto kuljettimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Kuljetin	Vikailmoitukset [kpl]	0	4	0	4
	Vikakustannukset [€]	0	606 €	0	606 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				638
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,64 %

Toiminnanohjausjärjestelmän vikadata

Avauspöydän valokennon toiminta vaikuttaa myös kuljettimen toimintaan, mutta valokennojen vikailmoitukset on käsitelty aliluvussa ”säkin avauskoneisto”. Kuljettimen viat ovat yksittäisiä, eikä toistuvia vikoja ole tunnistettu. Kolme neljästä vikailmoituksesta koskee jonkin kytkimen tai kytkimen johdon mekaanista rikkoutumista. Jokaisessa tapauksessa kyseessä on eri kytkin. Yksi vikailmoitus koskee kuljettimen pätkimistä, mutta vikailmoituksessa ei kuitenkaan ollut pätkimisestä lisätietoja. Kyseinen vikailmoitus on tehty 14.7.2016, ja vikailmoituksen tehnyt operaattori kertoi haastattelussa 26.4.2019, että satunnaisesti ST752-koneen kuljetin pätkii ja pysähtelee yllättäen ilman selvää syytä. Hän kertoi myös, että ongelmaa on tutkittu aikaisemminkin, mutta vikaa ei ole löydetty. Kuljettimen epäluotettavan toiminnan seurauksena säkitys toisinaan hidastuu ja voi ajoittain keskeytyä. Haastattelujen ja paikan päällä tehtyjen havaintojen perusteella ongelma ilmenee edelleen ajoittain, mutta sen aiheuttajaa ei tiedetä. Aiheuttaja on syytä selvittää ja vika korjata.

Toimintaongelmat

Kuljetin on yksi eniten häiriöilmoituksia ja tuotantokatkoksia aiheuttava aliyksikkö, ja häiriöiden vaikutus käytettävyyteen on merkittävä. Häiriöilmoitukset aiheutuvat siitä, kun säkin avauskoneisto ei saa avattua säkkiä. Vaikka kyseessä on säkin avauskoneiston toimintahäiriö, osassa tapauksista syy häiriöihin on todellisuudessa peräisin jo kuljettimelta. On mahdotonta sanoa, kuinka suuri osa näistä häiriöistä aiheutuu kuljettimesta. Operaattorien haastattelujen ja koneen toiminnasta tehtyjen havaintojen perusteella osuus on merkittävä. Tässä työssä ja taulukkoon 5 kerätyissä tiedoissa on oletettu, että puolet säkin avauksen epäonnistumisesta aiheutuvista häiriöilmoituksista johtuu kuljettimesta

ja puolet säkin avauskoneistosta. Säkin avauskoneistoa koskevat toimintaongelmat on käsitelty aliluvussa ”säkin avauskoneisto”.

Säkkirullan avaus- ja kuljetusvaiheessa tapahtuvia vika- ja vaikutusanalyyssissä tunnistettuja toimintaongelmia ovat säkin pysähtyminen joko liian pitkälle tai liian lähelle sekä säkin kulkeutuminen sivuun hihnalla niin, ettei avauskoneisto pysty avaamaan säkkiä. Säkki kulkeutuu sivuun silloin, kun säkkirulla on huonosti tehty ja rullasta aukeava säkki lähtee vinoon avautuessaan rullalta. Sivuun säkki voi myös joutua silloin, kun kaksi säkkiä on tarttunut kiinni toisiinsa. Tällöin asetinlaitteen viemä säkki voi vetää seuraavaa säkkiä mukanaan hetken matkaa, kunnes se tippuu epäsuotuisaan paikkaan joko sivuun tai liian pitkälle. Tällaisen huonon rullan kohdalla operaattori yleensä pitää käsin kiinni seuraavasta säkistä tai asettelee vinoon lähteneen säkin oikealle paikalleen. On myös mahdollista, että säkki kulkeutuu sivuun sen vuoksi, että säkkirulla ei ole asetettu tarkasti keskelle kuljetinta. Säkkirullan keskityksen tärkeyttä on painotettu työohjeessa.

Säkki voi pysähtyä liian myöhään tai liian aikaisin. Pysähtyessään liian aikaisin säkki ei peitä imutarraimia, jolloin imutarraimien ja säkin välille ei muodostu alipainetta. Seurauksena avauskoneisto ei saa säkistä kiinni ja säkki jää avaamatta, kunnes operaattori asettelee säkin paremmin. Pysähtyessään liian myöhään säkin avaus vaikeutuu ja usein epäonnistuu, sillä imutarraimet tarttuvat liian kauaksi säkin suun reunasta. Mitä kauempaa reunasta säkkiä yrittää avata, sitä vaikeampaa se on, sillä ilma ei pääse virtaamaan helposti tai ollenkaan tiiviiden muovikalvojen väliin keskelle säkkiä. Ilmiö on sama, kun yrittäisi avata rullasta otettua jätesäkkiä säkin keskeltä. Ilma ei pääse väliin ja säkki ei aukea. On myös mahdollista, että alipaine-ejektorien imuvoima ei ole riittävä. Imuvoimaa lisäämällä säkin avaus onnistuisi paremmin myös säkin pysähtyessä hieman pidemmälle. Säkin pysähtymiskohdan vaihtelu on ongelma, ja vaihtelua aiheuttaa muun muassa säkkirullan massan vaihtelu ja epäpyöreys. Kuljettimen moottorissa ei ole jarrua, ja pysähtymismatkan vaihtelu on sitä suurempaa, mitä nopeammin säkkirullaa pyöritetään.

Avauskoneisto yrittää avata säkkiä kolme kertaa, ja vasta kolmannella kerralla epäonnistuessaan tulee häiriöilmoitus. Tämä tarkoittaa sitä, että jos operaattori on aktiivinen, ei häiriöilmoitusta ehdi tulla silloin, kun hän on ehtinyt asettaa säkin oikeaan kohtaan ja säkin avaus onnistuu ennen kolmatta avausyritystä. Ilman aktiivista operaattoria häiriöilmoituksia – ja tuotantokatkoksia – olisi siis huomattavasti enemmän. Tämä on hyvä muistaa häiriötiheyden vaihteluita tutkittaessa.

Parannusehdotukset

Kuljettimelle RCM-prosessissa tehtyjen analyysien tuloksena löytyi useita kehitystarpeita toiminnan parantamiseksi. Huoltamalla ei toimintaa juuri voi parantaa, mutta modifikaatioilla ja oikeilla säädöillä voidaan saada merkittäviä parannuksia aikaan. Varaosapuutteita ei kuljettimen osalta ole tullut esille.

Säkkien yhteentarrautumisen aiheuttamien haittojen vähentämiseksi kannattaa asentaa välittömästi säkkirullan eteen painava, vapaasti pyörivä ja kelluva pyörä. Tällainen pyörä pitää seuraavaksi vuorossa olevan säkin paikoillaan hihnaa vasten, kun edellinen säkki lähtee asetinlaitteen mukana. Tällaista pyörää on kokeiltu kevään 2019 aikana. Operaattorien haastattelujen perusteella pyörä toimi hyvin tarkoituksessaan, mutta se häiritsi työskentelyä ja on siksi poistettu. Pyörän lisääminen on siis jo saatujen kokemusten mukaan perusteltua, mutta se tulee toteuttaa niin, ettei siitä ole haittaa koneiden käyttäjille. Pyörän pitää olla myöskin helposti nostettavissa sivuun ja kokonaan poistettavissa. Pyörän uudelleensuunnittelu kannattaa tehdä yhteistyössä operaattorien kanssa.

Säkkien sivuun ajautumisen vähentämiseksi kannattaa kuljettimen sivuille suunnitella ja lisätä säädettävät ohjurit, jotka ohjaavat sivuun aukeavan säkin takaisin keskelle kuljetinta. Ohjurit tulee sijoittaa niin lähelle hihnan pintaa, ettei säkki pääse kiilautumaan sivuohjureiden ja hihnan väliin. Ohjurit tulee olla säkin leveyden mukaan säädettäviä ja tarvittaessa helposti poistettavissa. Suunnittelussa kannattaa ottaa operaattorien näkemykset huomioon, jotta ohjurit häiritsevät mahdollisimman vähän koneen käyttäjiä.

Säkin pysähtymisen tarkentamiseksi on tämän työn aikana optimoitu ST731:n noutorullaimen kuljettimen toimintaa. Kuljettimen pyörimisnopeutta on säädetty hitaammaksi, jolloin pysäytettävä liike-energia on saatu pienemmäksi. Tämän lisäksi pysähtymisajan säätö on aktivoitu käyttöön. Kuljetin ei siis enää pysähdy vapaasti kitkan vaikutuksesta, vaan se pysähtyy säädetyn ajan kuluessa. Pysähtymisviive on säädetty uudelleen tehtyihin muutoksiin sopivaksi ja operaattorien on mahdollista säätää sitä edelleen itse tarvittaessa. Operaattoreilta saadun palautteen perusteella kuljettimen toiminnan optimointi on vaikuttanut positiivisesti koneen toimintaan. Säkki pysähtyy nyt tarkemmin, eikä operaattorin tarvitse säätää pysähtymisviivettä täyden ja tyhjän säkin välillä. Mitattua dataa ei tulosten tueksi ole, mutta operaattoreilta saadun positiivisen palautteen perusteella kannattaa kuljettimen nopeus, pysähtymisaika ja pysähtymisviive optimoida myös ST752:n noutorullaimen kuljettimeen.

Jatkotutkimusehdotukset

Noutorullaimen kuljettimen nopeuden, pysähtymisajan ja -viiveen optimointia kannattaa jatkaa saadun palautteen perusteella sekä tarkkailla vaikutusta avauksen onnistumiseen. Mikäli näitä arvoja säätämällä ei päästä riittävän hyvään pysähtymistarkkuuteen, on harkittava jarruttavan rumpumoottorin lisäämistä kuljettimeen, jolloin pysähtymisestä saadaan entistä tarkempi. Jarruttavan pulssianturilla varustetun rumpumoottorin kustannukset ovat noin 1500 € asentamattomana.

Syytä ST752:n kuljettimen pätkimiseen ja satunnaiseen pysähtelemiseen ei ole löytynyt, ja se täytyy selvittää välittömästi, kun ongelma seuraavaksi ilmenee. Löydettävän syyn perusteella määritetään jatkotoimenpiteet ongelman korjaamiseksi. Vinoon ajautuvien säkkien osalta tulee tarkkailla valmistettavien sivuohjureiden ja paininpyörän toimintaa ja muokata näitä tarvittaessa. Säkkirullien käyttäytymisessä esiintyy operaattorien mukaan paljon vaihtelua, joka vaikuttaa koneen toimintaan. Sekä vinoon että liian tiukkaan kelattujen säkkirullien esiintyessä kannattaa ehdottomasti olla myös yhteydessä säkki-valmistajiin ja selvittää, onko itse ongelman aiheuttajan poistamiseksi eli laadunvaihtelun vähentämiseksi mahdollista tehdä jotain.

5.4 Säkin avauskoneisto

Säkin avauskoneisto on yksi kolmesta aliyksiköstä, jossa vikaantumisen syitä ja seurauksia on analysoitu sekä tarvittavat toimenpiteet määritetty RCM-prosessin mukaisesti. Säkin avauskoneistosta tehty vikapuuanalyysi, vika- ja vaikutusanalyysi, sekä RCM-päätöslomake ovat tämän työn liitteinä (liitteet 1, 2 ja 3). Liitteissä säkin avauskoneistoa koskevat asiat on käsitelty tässä esitettyä yksityiskohtaisemmin.

Yhteenvetotaulukossa 6 esitettyjen tietojen perusteella on säkin avauskoneistosta tehty vain vähän vikailmoituksia, mutta niillä on kohtalainen vaikutus käytettävyyteen. Aiheutuneet kustannukset ovat maltilliset. Säkin avauskoneistosta aiheutuneita häiriöilmoituksia puolestaan on runsaasti, ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkittävä.

Taulukko 6. Yhteenveto säkin avauskoneistojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			Yhteensä
Säkin avauskoneisto	Vikailmoitukset [kpl]	1	5	0	6
	Vikakustannukset [€]	339 €	2 880 €	0 €	3 219 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,12 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				638
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,64 %

Toiminnanohjausjärjestelmän vikadata

Kaikki säkin avauskoneistosta tehdyt vikailmoitukset koskevat säkintunnistusta. Säkintunnistus ei toimi, se toimii satunnaisesti tai valokenno on rikki. Haastatteluissa nousi esille teknisinä ongelmina ainoastaan se, että säkin avauksen onnistumista seuraavien valokennojen tunnistusetaisyyttä on jouduttu joskus säätämään ja valokennoja vaihtamaan. Muuten avauskoneisto on kunnossapitohenkilöstön mukaan toiminut hyvin. Varaosina valokennoja on haettu varastosta yhteensä 5 kpl. Viimeisin valokennoon liittyvä vikailmoitus on tehty elokuussa 2017. Ongelman poistumisesta ei kuitenkaan ole varmuutta, sillä haastattelujen perusteella ei asian hyväksi ole tehty toimenpiteitä. On mahdollista, että kyse on ollut vain valokennojen vääristä säädöistä, ja valokennoja on tämän vuoksi vaihdettu turhaan. Valokennojen tyyppi on pysynyt samana.

Toimintaongelmat

Säkin avauskoneisto on hyvästä teknisestä toimivuudestaan huolimatta yksi eniten häiriöilmoituksia ja tuotantokatkoksia aiheuttava aliyksikkö. Häiriöilmoitukset aiheutuvat siitä, kun säkin avauskoneisto ei saa avattua säkkiä. Vaikka kyseessä on säkin avauskoneiston toimintahäiriö, on osa avaushäiriöihin johtavista tilanteista peräisin jo kuljettimelta säkin aukirullausvaiheesta. On mahdotonta sanoa, kuinka suuri osa näistä häiriöistä aiheutuu kuljettimesta. Operaattorien haastattelujen ja koneen toiminnasta tehtyjen havaintojen perusteella osuus on merkittävä. Tässä työssä ja taulukkoon 6 kerätyissä tiedoissa on oletettu, että puolet säkin avauksen epäonnistumisesta aiheutuvista häiriöilmoituksista johtuu kuljettimesta ja puolet säkin avauskoneistosta. Kuljetinta koskevat toimintaongelmat on käsitelty aliluvussa ”kuljetin”. Toisaalta on mahdollista, että osa huonosti avatun säkin aiheuttamista häiriöilmoituksista kirjautuu vasta asetinlaitteen säkintunnistusvaiheessa, jos avauskoneisto ei havaitse huonoa säkin avautusta, ja asetinlaite ei saa sen vuoksi säkistä kunnon otetta. On mahdotonta sanoa, kuinka suuri osa

näistä säkintunnistushäiriöistä aiheutuu säkin avauskoneistosta, mutta tässä työssä säkintunnistushäiriöiden on oletettu johtuvan ainoastaan asetinlaitteesta. Asetinlaitetta koskevat toimintaongelmat on käsitelty aliluvussa ”asetinlaite”.

Säkin avauksessa selkeästi suurin haaste on säkin ja imutarraimien väliin muodostuvan alipaineen syntyminen ja sen tuottama riittävä avausvoima. Yleisimpiä tunnistettuja syitä imuvoiman epäonnistumiselle on ryppyinen säkki, jolloin ilma pääsee vuotamaan tarraimen ja säkin välistä, eikä alipainetta muodostu. Havaintojen perusteella imutarraimien aukot keräävät myös imua heikentävää epäpuhtautta. Muita vika- ja vaikutusanalyyseissä tunnistettuja mahdollisia ongelmanaiheuttajia ovat epäpuhtaista ja epätasaisista pinoista johtuva vuoto sekä poikkeuksellisen tiukasti kiinni oleva säkin suu. Sekä operaattorien että tuotannon resurssivastaavan mukaan liian tiukasti kiinni olevia säkin suita esiintyy ajoittain. Säkin suun puoliskot voivat epäonnistuneessa leikkauksessa kiinnittyä saumasta yhteen, tai sitten puoliskot ovat niin tiivisti kiinni toisissaan, ettei ilma pääse kalvojen väliin ja säkki ei aukea. Tällöin kyseessä on ongelma säkin laadussa, minkä paikkaamiseen tarvitaan operaattorin apua.

Parannusehdotukset

Säkin avauslaitteistolle tehdyn RCM-analyyseissä tuloksena on löytynyt suositeltavia parannusehdotuksia. Koneetta on mahdollista modifioida sietämään säkkien laatuvariaatiota jonkin verran lisäämällä imutarraimien avausvoimaa. Mikäli todetaan tarpeelliseksi, kannattaa imutarraimien avausvoimaa lisätä esimerkiksi vaihtamalla tehokkaammat alipaine-ejektorit nykyisten tilalle. Tätä ennen kannattaa kuitenkin selvittää esimerkiksi mittamalla, toimivatko nykyiset ejektorit, kuten on tarkoitettu. On selvittävä, onko niiden teho heikentynyt huomaamatta ajan saatossa tai onko teho heikentynyt putkiston epäpuhtauden tai vuodon vuoksi.

RCM-analyyseissä tunnistettu, tekemisen arvoinen, kuntoon perustuva toimenpide on imutarrainten ja niiden ympäristön silmämääräinen puhtauden ja pintojen tasaisuuden tarkastaminen aina säkityksen alkaessa. Pinnat vaativat toimenpiteitä vain, jos tarkastuksessa havaitaan epäpuhtautta tai epätasaisuutta. Tehokkaita aikataulutettuja ennakko- ja huoltotoimenpiteitä puolestaan ei RCM-analyyseissä tunnistettu. Valokennoihin kannattaa tällä hetkellä soveltaa RTF-strategiaa, mutta tilanne tulee arvioida uudelleen, mikäli valokennot alkavat jälleen vikaantua usein. Varaosaksi kannattaa hankkia avauspöydän pinnassa olevaa teippiä. Nykyinen teippi on havainnointien perusteella ollut jo kauan riittävä ja saattaa epätasaisen pinnan vuoksi vaikeuttaa säkin avausta.

Jatkotutkimusehdotukset

Sisäsäkin ryppyisyydellä on havaittu olevan suuri vaikutus imuavauksen onnistumiseen. Koneen toiminnan kannalta olisi huomattava parannus, mikäli imuavaus pystyttäisiin kehittämään sellaiseksi, että se kykenee avaamaan myös ryppyisen säkin. Tämä muutos parantaa koneen käytettävyyttä sekä vähentää koneen riippuvuutta operaattorista ja hyvästä säkkilaadusta. Kehitystyössä kannattaa tehdä yhteistyötä laitevalmistajan kanssa.

Säkin ryppyisyyden kanssa samankaltainen ongelma on liian tiukasti kiinni olevat säkin suut. Tähän on pohdittu parannustoimenpiteitä aiemmin yhdessä laitevalmistajan kanssa. Laitetoimittaja tarjoaa ongelmaan ratkaisuksi säkin suun esiaukaisijaa, joka puhalttaa suuttimen kautta ilmaa sisäsäkin suuaukkoon ja saa näin kalvot irtoamaan toisistaan. Alipaine-ejektoreiden on helppo avata säkin suu, kun se on kertaalleen ollut jo auki. Esiaukaisimesta on pyydetty tarjous, mutta päätöstä sen hankkimisesta ei ole vielä tehty. Tämän modifikaation kustannus on noin 12 000 € asentamattomana säkityskonetta kohden. Modifikaation toteuttamisesta on hyvä keskustella uudelleen ja kysyä kokemuksia kohdeyrityksen muilta toimipaikoilta, joissa säkin suun esiaukaisin on käytössä. Esiaukaisin ei kuitenkaan ratkaise kaikkia säkin avauksen ongelmia. Sekä ryppyisten että tiukkojen säkin suiden osalta kannattaa ehdottomasti olla myös yhteydessä säkkivalmistajiin ja selvittää, onko itse ongelman aiheuttajan poistamiseksi eli laadunvaihtelun vähentämiseksi mahdollista tehdä jotain. Säkkit voi olla mahdollista esimerkiksi esiaukaista jo valmistusvaiheessa tai pintojen väliin voinee lisätä yhteen tarttumisen estävää puuteria.

Haastatteluissa operaattorien kanssa nousi esille tarve avausnokkien aukeamisen ja asetinlaitteen kourien sulkeutumisen ajoitusten optimoinnista. Avausnokat aukeavat aavistuksen ennen kuin kourat sulkeutuvat, jolloin säkki on hetken vapaasti ilmassa ja saattaa tänä aikana liikahtaa niin, etteivät kourat saakaan kunnon otetta säkistä. Tästä seuraa säkityksen keskeytys. Aihe on hyvä ottaa puheeksi operaattorien ja laitevalmistajan kanssa ja arvioida yhdessä optimoinnin tarve. Mikäli ajoitusten muuttaminen katsotaan tarpeelliseksi, onnistuu se ohjelman muutoksella ja siihen tarvitaan laitevalmistajan apua.

Eräs jatkotutkimusta vaativa asia on avausvarren liikeradan riittävyys ja liian lyhyestä liikeradasta aiheutuvien ongelmien esiintyvyyden seuranta ja muutostarpeen arviointi. Ongelma syntyy, kun yläavausnokka ei nouse riittävän korkealle, jolloin säkin suu jää avauksessa sivuilta löysäksi. Löysinä säkin suiden sivut taittuvat helposti sisäänpäin aiheuttaen suuaukon pienenemisen niin paljon, että asetinlaitteen kourat saattavat mennä ohi säkin suun. Tällöin asetinlaite ei saa otetta säkistä ja säkitys keskeytyy. Jos avausvarren liikerata on nykyistä suurempi, säkki aukeaa enemmän ja säkin sivut menevät

kireämmälle. Kireänä sivuille jää vähemmän löysää ja sivut eivät pääse taivuttamaan sisäänpäin, jolloin asetinlaitteen kourat mahtuvat säkin sisään tarkoitettusti. Sisäsäkkien suiden ympärysmitta on kaikilla Suomessa käytettävillä säkeillä sama. Tämän vuoksi avauksessa ei ole syytä jättää säkin suuhun tarpeetonta löysää. Avausliikkeen pituus voidaan säätää kerralla kaikille säkeille optimaaliseksi. Avausliikkeen pituus on tehty säädettäväksi, joten säätö on mahdollista ilman kalliita muutostöitä.

5.5 Asetinlaite

Asetinlaite on yksi kolmesta aliyksiköstä, jossa vikaantumisen syitä ja seurauksia on analysoitu sekä tarvittavat toimenpiteet määritetty RCM-prosessin mukaisesti. Asetinlaitteesta tehty vikapuuanalyysi, vika- ja vaikutusanalyysi, sekä RCM-päätöslomake ovat tämän työn liitteinä (liitteet 1, 2 ja 3). Liitteissä asetinlaitetta koskevat asiat on käsitelty tässä esitettyä yksityiskohtaisemmin.

Asetinlaitteesta tehtyyn yhteenvetotaulukkoon 7 kerätyt tiedot osoittavat, että asetinlaitteesta on tehty paljon vikailmoituksia ja niistä on aiheutunut kohtalaisen paljon kustannuksia. Asetinlaitteesta on aiheutunut eniten häiriöilmoituksia ja siten myös tuotantokatkoksia. Asetinlaitteen vaikutus käytettävyyteen on suuri, ja epäkäytettävyyttä aiheuttaa sekä toistuvat viat että toimintahäiriöt.

Taulukko 7. Yhteenveto asetinlaitteiden vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731	ST752	ST731 ja ST752	Yhteensä
Asetinlaite	Vikailmoitukset [kpl]	20	17	0	37
	Vikakustannukset [€]	5 743 €	6 955 €	0 €	12 699 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,51 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				1296
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				1,93 %

Toiminnanohjausjärjestelmän vikadata

Asetinlaitteessa on havaittu useita toistuvia vikoja. Vikailmoituksista 8 kpl viittaa käyttövirheeseen, kun asetinlaite on käsiajolla törmännyt johonkin väärän ajojärjestyksen vuoksi. Operaattorit joutuvat käyttämään käsiajoa koneen hukatessa paikkatietonsa esimerkiksi silloin, kun säkityskone pysähtyy äkillisesti virheen vuoksi tai turvaportin avaamisen seurauksena. Törmäys tapahtuu useimmiten silloin, kun asetinlaite on asetta-

massa säkkiä piipun ympärille, säkin pitimet ovat painautuneena piippua vasten ja samanaikaisesti piippua liikutetaan käsiajolla pystysuunnassa. Tällöin asetinlaitteen kourat ja sen ylä- tai alapuolella sijaitsevat säkin pitimet törmäävät ja yleensä molemmat vaurioituvat. Pahimmillaan koko asetinlaite on irronnut kiinnityksistään ja jäänyt johtojen vaaraan roikkumaan. Samasta syystä tapahtuneita vaurioita on merkitty säkin pitimien lukuun 7 kpl. Näistä törmäyksistä aiheutuneet vikailmoitukset on luokiteltu asetinlaitteen ja säkin pitimen välille sen mukaan, kumpaan on vikailmoituksen perustella tullut enemmän vaurioita. Kyseessä on kuitenkin sama aiheuttaja eli törmäys virheellisen ajojärjestyksen vuoksi. Asetinlaite voi myös törmätä viikkareiden, nipin tai piipun kanssa, mutta nämä ovat harvinaisempia tapauksia.

Vikailmoituksista 8 kpl viittaa ongelmiin asetinlaitteen kourien asennossa tai kouran antureissa. Yleensä näihin on korjaukseksi riittänyt raja-anturin vaihto tai säätö. Vikailmoitukset vaikuttavat myös siltä, että samaa anturia on jouduttu säätämään useampaan kertaan, ennen kuin se on alkanut toimia normaalisti. 8 vikailmoitusta on tehty asetinlaitteen säkintunnistusongelmiin liittyen. Tällöin pääosin tunnistintallat ovat kuluneet ja vuotavat. Joskus myös tunnistimen paineen säädöt ovat olleet pielessä. Säkintunnistusongelmia on häiriöhistorian perusteella jatkuvasti, mutta vikailmoituksia siitä on tehty vain 8 kpl. Todennäköisesti tunnistusongelmat mielletään koneen normaaleiksi ominaisuuksiksi ja vikailmoitus asiasta tehdään vasta, kun asetinlaitteen tunnistus lakkaa toimimasta kokonaan. Asetinlaitteesta tehdyt muut vikailmoitukset koskevat yksittäisiä vikoja.

Erilaisia yksittäisiä anturien rajojen tunnistusongelmia ja säätöä vaativia vikoja on melko paljon. Selitys näille vioille on mahdollisesti se, että ongelmien alkuperä on asetinlaitteen törmäilyssä eli käyttäjävirheissä. Tapahtumaketju menee niin, että kunnossapito pyydetään paikalle, kun kone ei toimi oikein tai se tekee outoja liikkeitä. Havaitaan, että anturi ei tunnista haluttua asiaa. Anturin tunnistamattomuus johtuu sähköautomaatiosuunnittelijan mukaan vain harvoin viallisesta anturista. Useimmiten kyse on anturin tai anturin haitan vääristä säädöistä, jotka puolestaan johtuvat vääntyneistä tai väänteessä olleista rakenteista. Rakenteet ovat vääntyneet törmäyksissä ja törmäykset puolestaan tapahtuvat haastattelujen perusteella lähes poikkeuksetta käsiajolla, kun konetta ajetaan käsiajolla väärässä järjestyksessä. On siis todennäköistä, että käyttäjävirheiden osuus on todellisuudessa huomattavasti suurempi kuin vikailmoituksista voi päätellä.

Yleisimmät viat, joita ovat törmäykset käsiajolla, anturiongelmat sekä säkintunnistusongelmat, ovat kaikki vahvasti tulleet esille niin operaattorien kuin kunnossapitohenkilöstönkin haastatteluissa. Ongelmien tiedostamisesta huolimatta ei niiden ehkäisemiseksi ole juuri tehty parannustoimenpiteitä, vaan viat ja vauriot on korjattu ja toimintaa jatkettu

entiseen tapaan. Asetinlaitteesta löytyy vielä paljon parannettavaa ja toiminnan parantaminen vaatii toimenpiteitä.

Toimintaongelmat

Asetinlaitteen säkintunnistuksessa on paljon ongelmia niin haastattelujen, paikan päällä tehtyjen havaintojen, vikailmoitusten kuin häiriöilmoitushistoriankin perusteella. Häiriöilmoitus ja tuotannon keskeytys on tarpeellista silloin, kun säkki on oikeasti huonosti. Tätä suurempana ongelmana ovat turhat keskeytykset, jollaisesta on kyse, kun asetinlaite hylkää säkin, vaikka se on hyvin kiinni kourien otteessa. Vika- ja vaikutusanalyyseissä tunnistetuista ongelman aiheuttajista säkintunnistusongelmia aiheuttaa pääasiassa rypyisen säkin, epäpuhtauden tai kuluneiden tallojen aiheuttamat vuodot säkin ja paineilmalla toimivan tunnistimen tallan välillä. Säkintunnistusanturin ja sen vastareian kohdistuksessa on kunnossapitoasentajien mukaan ollut joskus ongelmia, koska liikkumisvara on vain muutamia millieitä ja komponenttien välissä on monta niveltä. Toisinaan myös noudettava säkki on avattu huonosti, eikä asetinlaite saa siitä kunnon otetta. Tällöin säkintunnistus ei havaitse säkkiä molemmissa kourissa ja oikeaoppisesti hylkää säkin. Tämä on kuitenkin säkin avauskoneistoon liittyvä ongelma ja käsitelty aliluvussa ”säkin avauskoneisto”.

Häiriöilmoitusten suuren määrän perusteella voidaan todeta, että asetinlaitteen säkintunnistus on yksi eniten tuotantokatkoksia aiheuttava ja myös käytettävyyttä alentava vaihe. On mahdoton sanoa, kuinka suuri osa näistä häiriöistä johtuu virheellisestä säkintunnistuksesta ja kuinka suuressa osassa säkki on oikeasti huonosti asetinlaitteessa. Tunnistuksen toimintaa ja luotettavuutta parantamalla on kuitenkin mahdollista vähentää tuotantokatkosten määrää merkittävästi. Mittausjaksolla on myös kirjautunut pieni määrä häiriöilmoituksia, kun asetinlaitteen koura tai kourat eivät ole olleet auki-asennossa. Näiden kahden eri häiriöilmoitusten yhteisvaikutus käytettävyyteen on taulukon 2 mukaisesti merkittävä. Kaikki häiriöilmoitukset ovat kuitenkin tulleet kahtena eri päivänä, joten kyseessä on todennäköisesti tilapäinen rajavika, joka on korjattu samoihin aikoihin tehdyn vikailmoituksen perusteella raja-anturin vaihdolla. Mikäli ongelma ei uusiudu, kouran häiriöilmoitukset eivät vaadi toimenpiteitä.

Asetinlaitteen horisontaalinen siirto ei ole täysin tarkka, vaan sen pysähtyy noin parin sentin tarkkuudella. Tällainen epätarkkuus ei ole haitallista koneen toiminnan kannalta. ST752:n pysähtymisessä on havaittavissa ajoittain suurempaa vaihtelua, jolloin asetinlaite pysähtyy reilusti liian myöhään ja lopulta törmää mekaaniseen pysäyttimeen. Tämä tapahtuu tehtyjen havaintojen perusteella ainakin piipun alle pysähdyttäessä, jonka seurauksena asetinlaitteen kourat ja viikkarit osuvat yhteen. Törmäyksessä osat kolahtavat

voimakkaasti, mutta ne eivät vaurioidu, vaan ne pääsevät juuri ja juuri liukumaan toisensa ohi. Haastattelussa sähköautomaatioasentajan kertoman perusteella tätä ongelmaa on esiintynyt aikaisemminkin. Operaattorin kertoman mukaan ongelma on esiintynyt jo alkuajoista asti. Sama ongelma on esiintynyt myös ST731:lla, sillä tätä ongelmaa hyvin kuvaava vikailmoitus on tehty 18.12.2017.

Epätarkka pysähtyminen voi vika- ja vaikutusanalyysin perusteella johtua sähkömoottorin jarrun vikaantumisesta tai kulumisesta sekä optisen etäisyysmittauksen epätarkkuudesta. Asetinlaitteen ääriliikkeitä rajoittaa mekaaninen pysäytin, joka oikein säädettynä varmistaa, ettei asetinlaite tule liian pitkälle. Tällä hetkellä ainakin ST752:n pysäytin on säädetty niin, että siihen törmätessään asetinlaite on jo niin pitkällä, että sen kourat osuvat piipun sivuilla oleviin viikkareihin. Sekä pysähtymisen toiminnassa että pysäytinten säädöissä on parannettavaa.

Vika- ja vaikutusanalyysissä vikojen seurauksia tutkittaessa on havaittu, että asetinlaitteen pysähtyminen liian pitkälle ei ole kovin kriittinen vika niin kauan, kun mekaaniset pysäyttimet lopulta pysäyttävät liikkeen. Jos asialle ei tehdä mitään, toistuvat törmäykset rasittavat pysäyttimiä ja ne saattavat siirtyä tai rikkoontua. Tämän jälkeen asetinlaite pääsee vaarallisen pitkälle ja mitä todennäköisimmin törmää piipun tullessa alas aiheuttaen merkittäviä vaurioita sekä asetinlaitteeseen että piipun läheisyydessä oleviin komponentteihin.

Parannusehdotukset

RCM-prosessissa on tunnistettu asetinlaitteelle monta parannustoimenpidettä. Törmäysten välttämiseksi tehtävän ratkaisun tulee olla pettämätön ja operaattorin osaamisesta riippumaton. Väärinkäytön estämiseksi tulee käsiajolle ohjelmoida tarvittavat lukitukset, jotka estävät virheellisen ja törmäyksiä aiheuttavan käsiajon. Laitevalmistajan mukaan lukituksia on mahdollista toteuttaa ohjelmaa muuttamalla. Jos törmäykset saadaan estettyä, niistä aiheutuvat kunnossapitoa työllistävät välittömät vauriokorjaukset sekä myöhemmin mahdollisesti ilmenevät rakenteiden väsymisistä ja raja-arvojen uudelleen säädöistä aiheutuvat ongelmat poistuvat.

Asetinlaitteen säkintunnistusongelmat ovat laitetoimittajan asiantuntijoiden tiedossa, ja heidän ratkaisunsa tunnistuksen luotettavuuden parantamiseen on paineilmatusnastuksen korvaaminen valokennotunnistuksella. Valokennotunnistus ei ole riippuvainen anturien vastakkaisten osien kohdistuksesta tai anturin ja säkin välisestä ilmatiiviydestä. Laitetoimittaja on päivittänyt muutama vuosi sitten uusien koneiden asetinlaitteen säkintunnistuksen valokennotunnistukseen. Laitetoimittajalta saadun hinta-arvion mukaan tunnistuslaitteiston modifiointikustannus ST731- ja ST752-säkityskoneisiin on asennettuna

noin 8 500 € säkityskonetta kohden. Laitetoimittajan mukaan valokennotunnistus on toiminut paineilmatunnistusta luotettavammin, eikä sen toimintaongelmista ole heille raportoitu.

Säkitunnistuksen mahdollisen modifioinnin toteuttamiseen kuluu joka tapauksessa jonkin verran aikaa, ja vanha paineilmatunnistus pysyy vielä toistaiseksi käytössä. Tässä vaiheessa kannattaa vielä panostaa nykyisen tunnistuslaitteiston toimintaan ja laatia operaattoreille tunnistintaljojen vaihto-ohjeet, jotta he voivat vaihtaa ne itse tarvittaessa. Vaihto-ohjeiden yhteyteen säkityskoneiden läheisyyteen toimitetaan myös tarvittavat työkalut ja uusia taljoja. Vaihtotyö on helppo ja nopea toimenpide, ja samat ohjeet pätevät myös säkin pitimien tunnistimien taljojen vaihtoon.

Tällä hetkellä ST752:n horisontaalsiirron alkupään puoleinen pysäytin on oikein säädetty, mutta se on vääntynyt asetinlaitteen törmättyä siihen. Loppupään puoleinen pysäytin on puolestaan säädetty liian kauas. Vahvempien pysäytinten toteuttaminen on suotavaa, jotta ne kestäisivät varmasti häiriötilanteessa asetinlaitteen törmäyksen täydellä vauhdilla niitä päin. Kaikki pysäyttimet tulee säätää niin, ettei asetinlaite missään tilanteessa pysäytintä päin ajaessa pääse niin pitkälle, että se törmää johonkin ja aiheuttaa vahinkoa.

Asetinlaitteen horisontaalisen siirron toiminta tulee saada sellaiseksi, ettei se normaalin toiminnan aikana törmää mekaanisiin pysäyttimiin, vaan pysähtyy aina riittävän tarkasti haluttuihin kohtiin. Ensin kannattaa tarkastaa sähkömoottorin jarrun toiminta ja kuluneisuus sekä säätää se oikein. Myös etäisyysmittareiden pinnat kannattaa puhdistaa ja suuntaus tarkastaa. Asetinlaitteen taajuusmuuttajan hidastusaikojen ja viiveiden optimoinnilla on pysähdyskohtaa mahdollista saada tarkennettua. Asetinlaitteella on reilusti aikaa mennä piipulle, joten horisontaaliliikettä on myös mahdollista hidastaa jonkin verran.

RCM-analyysissä nousi esille myös tarve ennakoiville huoltotoimenpiteille, jotka kannattaa suorittaa kuntotarkastuskierrosten yhteydessä kahden kuukauden välein. Näitä toimenpiteitä ovat asetinlaitteen horisontaalsiirron toimintakoe, johteiden ja pyöräyksiköiden kunnan tarkastus sekä etäisyysmittareiden linjauksen ja puhtauden tarkastaminen. Tarkastuksissa havaittujen puutteiden mukaan valitaan jatkotoimenpiteet. Itse tarkastukset ovat nopeita ja helppoja toimenpiteitä, eikä niihin mene aikaa muutamaan minuuttia kauempaa, mikäli kaikki on kunnossa.

Varaosatarpeita ilmeni myös RCM-analyysissä. Asetinlaitteen kouralevyt ovat toiminnanohjausjärjestelmässä nimikkeenä, mutta niitä ei ole merkitty varastossa pidettäväksi.

Kouralevyjä ja kouralevyjen vastakappaleita eli ohjureita kannattaa hankkia yksi pari varastoon. Laippalaakerit, joissa kouravarret ovat kiinni sekä asetinlaitteen horisontaalsiirron johteet ja pyöräyksiköt kannattaa myös hankkia varastoon. Säkintunnistimien talloja kannattaa varastoida reilusti, sillä ne ovat kulutustavaraa. Tallat ovat samoja kuin säkin pitimissä. Tallojen kehitysehdotuksia on käsitelty aliluvussa ”säkin pitimet”.

Jatkotutkimusehdotukset

Käsiajon lukitustarpeet ja niistä mahdollisesti aiheutuvat haittavaikutukset on tarpeen määrittää huolellisesti yhdessä tuotannon henkilöstön ja laitetoimittajan kanssa. Selvitysten jälkeen kaikki tarkoituksenmukaiset lukitukset tulee toteuttaa. Muutoksista päättäessä tulee ottaa huomioon ohjelmoinnin hinta, törmäysten todennäköisyys ja niiden seuraukset.

Asetinlaitteen säkintunnistuksen poistamisen mahdollisuus kannattaa tutkia ennen valokennotunnistuksen toteuttamista. Säkintunnistus asetinlaitteessa ei välttämättä ole ollenkaan tarpeellinen, sillä kone tunnistaa säkin joka tapauksessa kahdessa seuraavassa vaiheessa. Tunnistukset tapahtuvat, kun säkki on asetettu piipun ympärille (säkin pitimien säkintunnistus) ja ennen kuin kone pudottaa lannoitteen säkkiin (puhalluspaineen tunnistus). Poistettaessa siis asetinlaitteen säkintunnistus koneella kestää hieman kauemmin tunnistaa huonosti oleva säkki, mutta vahinkoa ei aiheudu. Säkintunnistuksen poistamisen vaikutuksia voi testata käytännössä nykyisellä laitteistolla poistamalla säkintunnistus käytöstä esimerkiksi hämäämällä antureita ja keräämällä käyttäjiltä kokemuksia muutoksen vaikutuksesta. Rahaa ei kannata käyttää tunnistuslaitteiston modifiointiin, mikäli todetaan, että koko laitteisto on tarpeeton.

Jos asetinlaitteen säkintunnistuksen poistaminen todetaan toimivaksi vain tietyissä tilanteissa, on hyödyllistä, että operaattori pystyy itse laittamaan tunnistuksen päälle ja pois. Haittaa tunnistuksesta voi olla esimerkiksi silloin, kun säkit ovat ryppyisiä ja tunnistusvirheitä tulee paljon. Operaattorit ovat myös toivoneet, että asetinlaite tunnistaisi säkin jo heti noutopöydällä, eikä vasta säkin noudettuaan. Tällöin huonosti olevan säkin uudelleenasettelu olisi nykyistä nopeampaa, koska hylättyä säkkiä ei tarvitsisi hakea turvaaitojen sisäpuolelta. Asetinlaitteelle voi olla kannattavaa tehdä säkintunnistusvalikko, josta voi valita, tunnistako kone säkin heti noutopöydällä, vasta piipulla, molemmissa vai ei ollenkaan. Asetuksia voi sitten muuttaa kuhunkin tilanteeseen parhaiten sopivaksi.

Mikäli asetinlaitteen horisontaalsiirron jarru toimii normaalisti, mutta asetinlaite silti pysähtyy satunnaisesti tarkoitettua pidemmälle, tulee seuraavaksi pohtia etäisyyden mittaustapaa uudelleen. Mittauksesta tulee rakentaa nykyistä luotettavampi ja esimerkiksi

absoluuttianturin hyödyntäminen sijaintitietoon on selvityksen arvoinen asia. Laitetoimitajan asiantuntijoiden kanssa kannattaa keskustella asiasta, sillä heillä saattaa olla jo valmiiksi kehitetty luotettavampi mittaustapa saatavilla.

5.6 Säkin oikaisin

Säkin oikaisimista eli porteista tehtyyn yhteenvetotaulukkoon 8 kerättyjen tietojen perusteella porteista on tehty vain vähän vikailmoituksia ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön. Kustannukset ovat maltilliset. Häiriöilmoituksia porteista on aiheutunut kohtalaisesti, mutta niiden vaikutus käytettävyyteen on vähäinen.

Taulukko 8. Yhteenveto säkin oikaisimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			ST731 ja ST752
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Säkin oikaisin	Vikailmoitukset [kpl]	7	1	0	8
	Vikakustannukset [€]	1 726 €	94 €	0 €	1 820 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				173
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,04 %

Porteissa ei vikailmoitusten perusteella ole toistuvia vikoja. Viat ovat yksittäisiä, eikä ongelmia siten ole havaittavissa. Porttien aiheuttamat häiriöilmoitukset kirjautuvat, kun asennotila on viemässä tyhjää säkkiä piipulle, mutta yksi tai useampi porteista on kiinni, vaikka niiden pitäisi olla auki. Tai portti voi toki olla auki, mutta sylinterissä oleva raja ei tunnista sen olevan auki. Operaattori ei kuitenkaan välttämättä tarvitse kuitata säkin oikaisimista aiheutuvia häiriöilmoituksia, sillä kone jatkaa automaattisesti säkitystä, kun se havaitsee, että kaikki portit ovat auki.

Haastatteluissa ei ole tullut esille merkittäviä vikoja tai puutteita porttien toiminnassa. Ainoastaan yksi operaattori totesi haastattelussa 16.8.2019, että välillä jokin portti sulkeutuu hieman myöhemmin ja ongelma poistuu sylinterien voitelulla. Osa häiriöilmoituksista voi johtua siitä, että jokin sylintereistä liikkuu muita tahmeammin ja avautuu siten myöhemmin. Jos ongelma toistuu jonkin sylinterin kohdalla useasti, tulee sylinteri vaihtaa uuteen tuotantotilanteen salliessa. On myös mahdollista, että jonkin anturin säädöt ovat hieman pielessä siten, että auki-asennossa anturi välillä tunnistaa ja välillä ei. Vikailmoituksista päätellen anturin vioittumisenkaan ei ole tavatonta. Kerätyn

datan sekä haastattelujen perusteella voidaan todeta, että säkin oikaisimet ovat tarkoituksenmukaisia ja ne toimivat hyvin. Ennakoivia kunnossapitomenetelmiä ei tarvita. Tarvittavat varaosat, kuten sylinterit päätyineen, raja-anturit ja laakerit, löytyvät varastosta. Säkin oikaisimet eivät vaadi muita toimenpiteitä kuin laakerien rasvauksen entiseen tapaan rasvauskierrosten yhteydessä kuuden kuukauden välein.

Säkin oikaisimien levyjä tulee säätää silloin, kun säkitetään 1 200 kg:n säkkiä. Muita säkikokoja käytettäessä pärjätään yksillä asetuksilla. Säättämisessä tarvitaan perustyökaluja pulttien avaamiseen ja uudelleenkiristämiseen, ja operaattorit suorittavat työn. Operaattoreille on hyvä tehdä porttien säätöohjeet, ja ne kannattaa viedä paperisena koneen läheisyyteen säätöön tarvittavien työkalujen kanssa. Tällöin on helppo katsoa tarvittaessa ohjeita ja säätötyö sujuu nopeasti, kun työkalut ovat valmiina.

5.7 Puhallus, imu, pölynpoisto

Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteiston yhteenvedotaulukko 9 osoittaa, että laitteistosta on tehty paljon vikailmoituksia ja niistä aiheutuneet kustannukset ovat kohtalaisen suuret. Laitteistoon on tehty hiljattain merkittäviä muutoksia ongelmien poistamiseksi, ja muutetun laitteiston toiminnasta ei ole vielä kokemuksia, eikä toistuvia vikoja ole toistaiseksi esiintynyt. Häiriöilmoituksia puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistosta on aiheutunut vain vähän, mutta niillä on kohtalainen vaikutus käytettävyyteen. Laitteistoon tehdyt muutokset eivät suoranaisesti liity häiriöilmoitusten aiheuttajaan.

Taulukko 9. Yhteenvedo puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731		ST731 ja ST752	
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Puhallus, imu, pölynpoisto	Vikailmoitukset [kpl]	9	19	0	28
	Vikakustannukset [€]	8 432 €	7 426 €	0 €	15 857 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				42
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,73 %

ST731:n vikailmoitusta kohden huomattavasti korkeammat kustannukset selittyvät osin sillä, että molempien koneiden pölynpoistolaitteiston huollon varaosien kustannukset on merkitty ST731:lle. Suodatinelementtisarjoista ja suodatinkehikkosarjoista koostuneet varaosat ovat maksaneet yhteensä 4 187,5 €. Lisäksi ST731:lle on vaihdettu 1 299 €:n arvoinen suodatinelementtisarja tammikuussa 2019, mitä ST752:lle ei ole tehty. Tässä

työssä käytetty toiminnanohjausjärjestelmän vikadata ulottuu 31.1.2019 asti, joten kustannuksissa ei näy tämän jälkeen toteutetut puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistoon liittyvät merkittävät muutokset. Muutoksia käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

ST752:n huomattavasti suurempaa vikailmoitusmäärää selittää pitkälti ongelmat koneen pölynhallinnassa. Ongelmia on operaattoreiden ja kunnossapitoasentajien mukaan ollut alusta alkaen. Alun perin imuvaiheessa imetty, suodattimille kerääntynyt pöly puhallettiin paineilmalla takaisin vaakaan tuotteen joukkoon pienen, noin 25 mm:n putken kautta. Tämä pieni siirtoputki usein rikkoutui tai meni tukkoon, jolloin pölyäminen lisääntyi entistään ja aiheutti tuotantokatkoksia tukosten avaamisen ajaksi. Toisinaan koko pölynpoistosuodatinkaappi oli täynnä pölyä, mikä kuormitti myös pölysuodattimia sekä aiheutti ongelmia ilman virtauksessa. Tuotteen mukana kiertävä pöly pääsi tuotantotiloihin myös säkin suun ja piipun välistä sakkia auki puhallettaessa. Tästä aiheutui paljon pölyämistä tuotantotiloihin säkitysrakennuksen sisäilmaan, eikä ilma ollut aina edes hengityskelpoista. Pölyämisongelma on ollut huomattavasti pahempi ST752:lla kuin ST731:llä. Osa-syyksi on arveltu, että ST752:lla säkitettävät lajikkeet pölyävät enemmän. Toinen selittävä tekijä on, että ST752:lla koko koneikko on samassa yhtenäisessä tilassa. ST731:lla taas vaaka ja pölynpoistokoneisto ovat erillään tuotantotiloista, ja tilojen välissä on betonilattia.

Osaston projektikoordinaattorin mukaan toukokuussa 2019 toteutettiin ST752:n pölynpoistolaitteistolle muutoksia niin, että nykyään pölysuodattimiin jäävä pöly pudotetaan painovoimaisesti kaksoisläppäventtiiliä hyödyntäen erilliseen, tiiviiseen säkkiin, jolloin pölyä ei juurikaan kulkeudu sisäilmaan. Pudotusputken halkaisija on noin 150 mm, joten sen tukkeutumisriski on pieni. Ratkaisu vähentää pölyämistä, sillä pölyä ei puhalleta paineilmalla mihinkään eikä pölyä palauteta tuotteen joukkoon. Tällöin vaa'assa ja putkitossassa on vähemmän tukoksia aiheuttavaa pölyä kuten myös puhallusilmassa ja valmiin tuotteen joukossa. Pöly valmiin tuotteen joukossa on huono asia, joten tuotteen laatuakin on parantunut muutoksen myötä. Samassa yhteydessä koneen puhalluksen ja imun sekä säkin pitimien ajoituksia optimoitiin niin, että puhallusilmaa ja sen mukana kulkevaa pölyä pääsee vuotamaan säkin suun ja piipun välistä entistä vähemmän. Ilmassa leijaillevan lannoitepölyn vähenemisellä on todennäköisesti myös positiivisia epäsuoria pitkän ajan vaikutuksia, kun korroosiota aiheuttavaa pölyä pääsee esimerkiksi rakenteisiin ja sähköliittimiin entistä vähemmän.

Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistoa koskeva häiriöilmoitus tulee, kun piipun sisään kiinnitetty säkin pullistusanturi ei tunnista säkkiin syntyvää painetta sakkia auki puhallettaessa. Syitä tähän voi olla anturin likaisuus, normaalia heikompi puhallusteho, vuotava

säkin ja piipun väli, vuotava säkki tai säkin puuttuminen kokonaan. Operaattorien mukaan ajoittain anturi täytyy puhdistaa tiheästi, sillä se muurautuu kostealla ilmalla umpeen kondenssiveden ja pölyn vaikutuksesta. Suotuisalla ilmalla taas anturi ei vaadi puhdistusta pitkään aikaan. Häiriön käytettävyyksivaikutusta laskettaessa on oletettu, että operaattori puhdistaa anturin häiriön ilmaantuessa. Tarkastelujaksolla häiriöitä on tullut tavallista useammin, joten vaikutus käytettävyyteen on määritetty pahimman tilanteen mukaan. Pölynpoiston muutokset todennäköisesti vähentävät myös häiriöitä, vaikkei suoranaisia pullistusanturia koskevia muutoksia tehtykään. Nimittäin putkistossa pitäisi muutoksen jälkeen olla vähemmän anturia tukkivaa pölyä ja puhallustehon pysyä parempana.

Käyttäjäkokeemukset pölynpoistolaitteiston muutoksesta parin kuukauden ajalta ovat olleet positiivisia, ja pölyn määrä on operaattorien mukaan tuotantotiloissa vähentynyt. Aika näyttää, miten muutos vaikuttaa pölyn aiheuttamiin ongelmiin. Keskustelua on käyty saman modifikaation toteuttamisesta ST731:lle, mutta siitä ei ole vielä tehty päätöstä. Kokemuksia ST752:n toiminnasta kannattaa kerätä vielä jonkin aikaa ennen kuin muutos toteutetaan toiseenkin säkityskoneeseen, jotta esimerkiksi uudessa laitteistossa mahdollisesti esiintyvät puutteet tunnistetaan.

Eräs hyvä pölyyn liittyvä, puhdistusta helpottava modifikaatio tehtiin helmikuussa 2019, kun molempien koneiden pölynkeräyssupiloihin tehtiin siivousluukku, jonka avaamalla päästään puhdistettaviin kohteisiin käsiksi ilman suurta purkutyötä. Lisäksi puhdistustöitä on helpottanut ja nopeuttanut ST731:lle katonrajaan toukokuussa 2019 tehty huoltotaso. Huoltotason myötä ei enää tarvitse rakentaa säkityslinjan päälle telineitä tiettyjen puhdistustöiden ja huoltojen ajaksi. ST752:lla puolestaan on aina ollut hyvä pääsy puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistolle.

Operaattoreille tulee laatia tarkastus- ja puhdistusohjeet puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistolle, koska operaattorien haastattelujen perusteella vaikuttaa siltä, että epäpuhtaudesta ja tukoksista aiheutuu paljon tuotantokatkoksia, ja niitä on todennäköisesti luvassa jatkossakin. Operaattorit osaavat itse parhaiten sanoa, mitkä ovat kriittisimmät, puhdistusta vaativat kohteet ja kuinka usein ne vaativat puhdistusta. Mikäli mahdollista, kannattaa puhdistukset ajoittaa rauhallisiin hetkiin, kun resursseja on vapaana tai tehdä ne ennen tulevaa tiedostettua ruuhka-aikaa. Tarkastus- ja puhdistusohjeet kannattaa kuitenkin laatia vasta, kun käyttäjillä on tarpeeksi kokemusta modifioidusta pölynpoistolaitteistosta. Operaattorien suorittamien puhdistustöiden todellista vaikutusta käytettävyyteen on vaikea arvioida, sillä niistä ei ole pidetty kirjaa ja puhdistustarve vaihtelee paljon esimerkiksi ilmankosteuden mukaan.

28 vikailmoituksesta 18 kpl eli 64 % on sellaisia, joissa esiintyneisiin ongelmiin edellä mainituilla puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteiston modifikaatioilla on pyritty vastaamaan. Näiden lisäksi kolmessa vikailmoituksessa on kyse käyttäjävirheestä, neljässä ennakkohuollosta, kahdessa läpän mekaanisesta vaurioitumisesta ja yhdessä muusta huomiosta. Läpän mekaaniset viat voivat johtua siitä, että kerääntyneen lian vuoksi läppiin ja toimilaitteisiin on kohdistunut normaalia kovempi rasitus.

Äskettäin tehtyjen merkittävien muutosten vuoksi ei pölynpoistolaitteistoa kannata käsitellä tässä työssä tämän syvällisemmin. Toteutetut modifikaatiot on tehty parantamaan suurinta osaa puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteistossa esiintyneistä ongelmista. Jatkossa kannattaa seurata laitteiston toimintaa, kerätä siitä kokemuksia, kirjata ne muistiin ja reagoida mahdollisesti ilmaantuviin ongelmiin. Varastonimikkeeksi kannattaa lisätä ja tilata varastoon säkin pullistusaineanturi, ilmaputkiston läppäventtiilit toimilaitteineen, keskipakopuhallin sekä pölynpoistomodifikaatiossa lisätyn kaksoisläpän läppäventtiili ja toimilaite. Myös tarvittaessa vaihdettavat pölynpoiston suodatinelementtisarjat on hyvä pitää varastossa tukkeutumisen varalta.

5.8 Piippu

Taulukossa 10 esitetyn piipuista tehdyn yhteenvedon perusteella on piipuista tehty vain vähän vikailmoituksia, ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön. Myös kustannukset ovat maltilliset. Piipuista aiheutuneet häiriöilmoitukset ovat merkityksettömiä käytettävyyden kannalta.

Taulukko 10. Yhteenvedo piippujen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			Yhteensä
Piippu	Vikailmoitukset [kpl]	5	1	0	6
	Vikakustannukset [€]	1 607 €	143 €	0 €	1 751 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				Merkityksetön
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön

Piippua koskevat vikailmoitukset ovat satunnaisia. Vikailmoituksia on tehty irronneesta haitariputkesta, vääristä säätöarvoista ja kuluneesta laakerista. Viat ovat yksittäisiä, eikä

toistuvia vikoja ole havaittavissa. Piipusta ei ole aiheutunut käytettävyyteen vaikuttavia häiriöilmoituksia.

29.8.2019 tehdyssä havainnointikierroksessa piipun korkeusanturin vastakappaleessa oli runsaasti tummaa likaa, vaikka vastakappaleen tulisi olla puhdas ja valkoinen korkeusanturin häiriöiden välttämiseksi. Anturin ja sen vastakappaleen puhtauden tarkastus ja tarvittaessa puhdistus tulee lisätä ennakkohuoltolistaan. Tällaisten häiriöiden määrä on kuitenkin vähäinen, eivätkä ne aiheuta muita toimenpiteitä. Vaa'an ja piipun välinen haitariputki tulee myös lisätä varastonimikkeeksi ja ottaa varaosaksi varastoon. Piipun tekemät väärät liikkeet johtuvat hydraulikkayksiköstä, jonka ongelmia on käsitelty aliluvussa "hydraulikkayksikkö".

5.9 Säkin pitimet

Yhteenvetotaulukossa 11 esitettyjen tietojen perusteella on säkin pitimistä tehty kohtalaisesti vikailmoituksia ja niillä on kohtalainen vaikutus käytettävyyteen. Aiheutuneet kustannukset ovat kuitenkin maltilliset. Säkin pitimistä aiheutuneita häiriöilmoituksia on myös kohtalaisen paljon, ja niiden vaikutus käytettävyyteen on suuri.

Taulukko 11. Yhteenvedo säkin pitimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Säkin pitimet	Vikailmoitukset [kpl]	4	8	0	12
	Vikakustannukset [€]	1 087 €	2 023 €	0 €	3 111 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,14 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				359
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				1,08 %

Säkin pitimien vikailmoituksista 7 kpl viittaa törmäykseen asetinlaitteen kanssa. Törmäykset ovat tapahtuneet todennäköisesti käsiajolla, kuten aliluvussa "asetinlaite" on kuvattu. Osassa asetinlaitteelle merkityistä vikailmoituksista on maininta myös vaurioituneista säkin pitimistä, joten säkin pitimet ovat varmasti vaurioituneet useammin kuin 7 kertaa. Korjaustoimenpiteinä säkin pitimet on väännetty suoriksi tai vaihdettu uusiin. Toista, noutorullaimen puoleista säkin pidintä on kavennettu laitetoimittajan ohjeiden mukaan alkuvuosina, jotta asetinlaite ei törmäisi siihen yhtä helposti kuin aiemmin. Tarkkaa aikaa ei ole tiedossa, mutta kunnossapitoasentajien mukaan siitä on useampi vuosi ai-

kaa. Säkin pitimien on mahdollista törmätä käsiajolla asetinlaitteen lisäksi myös viikkarien kanssa. Törmäyksiä ja niiden ehkäisemiseksi tarvittavia toimenpiteitä käsitellään tarkemmin aliluvussa "asetinlaite".

Kahdessa vikailmoituksessa on ollut säkin pitimien johdesylinterin kanssa ongelmia. Yksi sylinteri on vuotanut ilmaa jo elokuussa 2015 ja toisella kerralla huhtikuussa 2017 sylinterin johteet ovat olleet niin likaiset, että sylinteri on jumiutunut. Sylinteriongelmiin juuri-syy lieenee säkin suun ja piipun välistä purkautunut suuri pölymäärä, joka on mennyt liikkuvien osien liukupintojen väliin. Pölyämistä on saatu vähennettyä kesäkuussa 2019 tehtyjen muutosten myötä. Pölyämisongelmaa ja sille tehtyjä parannustoimenpiteitä käsitellään tarkemmin aliluvussa "puhallus, imu, pölynpoisto".

Piipun säkintunnistusongelmista on tullut huomattavasti vähemmän häiriöilmoituksia kuin asetinlaitteen säkintunnistuksesta, mutta vaikutus käytettävyyteen on silti suuri. Kun säkkiä ei tunnisteta piipulla, joutuu operaattori hakemaan säkin aina turva-aitojen sisäpuolelta. Tähän kuluu aikaa ja vaikuttaa siksi merkittävästi käytettävyyteen. Asetinlaitteen ja piipun säkintunnistimet ovat samanlaisia. Piipulla tapahtuvassa säkintunnistuksessa on muuten samat ongelmat kuin asetinlaitteen säkintunnistuksessa (ryppyinen säkki, kuluneet tunnistintallat, epäpuhtaus), mutta rakenteen ollessa tukevampi ei anturin ja sen vastareian kohdistus käytännössä pääse muuttumaan koneen normaalin toiminnan aikana, kuten asetinlaitteessa. Lisäksi piipun säkintunnistuksessa on vain yksi anturi, kun asetinlaitteessa niitä on kaksi ja siten häiriön mahdollisuuksia tuplasti enemmän. Havainnointien perusteella piipun säkintunnistuksessa ongelmia aiheuttaa ainakin ST752:lla pölyn kertyminen täyttöputkeen tunnistusanturin kohdalle. Tämä aiheuttaa tunnistimen ja säkin väliin ilmavuotoja ja siten säkintunnistusongelmia. Toisaalta, molempien koneiden piipun säkintunnistuksen tallat ovat olleet todella huonossa kunnossa koko tämän työn tekemisen ajan, mikä yksinään selittänee valtaosan säkintunnistusongelmista. Säkintunnistusongelmia on käsitelty tarkemmin aliluvussa "asetinlaite".

On todennäköistä, että osa piipulla tapahtuvista säkintunnistuksen virheistä johtuu asetinlaitteesta tai jo aikaisemmista vaiheista. Säkin pitimien säkintunnistus antaa virheilmoituksen ja pysäyttää koneen silloin, kun se ei havaitse säkkiä piipun ympärillä. Säkki on saattanut olla huonosti jo asetinlaitteessa, eikä sen vuoksi ole mennyt piipun ympärille. Asetinlaitteen pitäisi tosin hylätä säkki jo ennen piippua, mikäli se on huonosti asetinlaitteen otteessa, mutta näin ei aina tapahdu. Kun tämä virhe havaitaan vasta piipulla tapahtuvassa tunnistuksessa, näyttää häiriö tapahtuvan vasta piipun tunnistusvaiheessa. On mahdotonta sanoa, kuinka suuri osa näistä häiriöistä aiheutuu jo aikaisemmista vaiheista ja kuinka suuressa osassa säkki on oikeasti ollut huonosti piipulla. Tässä

työssä on kuitenkin kaikki säkin pitimien tunnistushäiriöt osoitettu säkin pitimille. Säkin-tunnistusongelmia on häiriöhistorian perusteella runsaasti, mutta vikailmoituksia siitä on tehty vain 3 kpl. Todennäköisesti tunnistusongelma mielletään koneen normaaliksi ominaisuudeksi ja vikailmoitus asiasta tehdään vasta, kun asetinlaite lakkaa tunnistamasta säkkejä kokonaan.

Operaattoreille kannattaa laatia tunnistintallojen vaihto-ohjeet, jotta he voivat itse vaihtaa tallat tarvittaessa. Vaihto-ohjeiden yhteyteen säkityskoneiden läheisyyteen toimitetaan myös tarvittavat työkalut ja uusia talloja. Vaihtotyö on helppo ja nopea toimenpide, ja samat ohjeet pätevät myös asetinlaitteen tunnistimien tallojen vaihtoon. Kun operaattoreilla on valmiudet vaihtaa tallat itse, ei arvokasta tuotantoaika kulu kunnossapidon odotteluun, eikä kunnossapidon tarvitse keskeyttää muita töitä tallojen vaihdon ajaksi.

Säkin pitimiä on ostettu varaosiksi 2 kpl joulukuussa 2015, mutta ne eivät ole varastonimikkeenä. Säkin pitimet tulee ottaa varastonimikkeeksi ja pitää niitä varaosina varastossa tulevien törmäysvaurioiden varalta. Varaosapuutteena on havaittu myös säkintunstimien tallojen puuttuminen varastosta. Ne tulee lisätä varastonimikkeeksi ja pitää niitä aina reilusti varastossa, sillä tallat ovat kulutustavaraa ja koneen toiminnan kannalta tärkeitä osia. Tosin tallat ovat melko kalliita, noin 50 €/pari. Vaihtoehtoisesti yrityksen omalla 3D-tulostimella tallat voitaisiin itse tulostaa ja kokeilla erilaisten muotojen ja materiaalien toimivuutta. Tallojen materiaalia ja muotoa optimoimalla on todennäköisesti mahdollista lisätä säkityskoneen sietoa ryppyisille säkeille ja vähentää säkintunnistusvirheitä.

5.10 Viikkari

Viikkareista tehtyyn yhteenvetotaulukkoon 12 kerätyt tiedot osoittavat, että viikkareista on tehty kohtalaisesti vikailmoituksia ja niistä on aiheutunut maltillisesti kustannuksia. Häiriöilmoituksia ei ole merkittävästi aiheutunut. Viikkarien vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön sekä toistuvien vikojen että toimintahäiriöiden osalta.

Taulukko 12. Yhteenveto viikkarien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			Yhteensä
Viikkari	Vikailmoitukset [kpl]	4	8	0	12
	Vikakustannukset [€]	1 789 €	2 104 €	0 €	3 893 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				Merkityksetön
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön

Viikkareiden vikailmoituksista ei löydy toistuvia vikoja. Viat ovat yksittäisiä, eikä siten ongelmia ole havaittavissa. Viikkarit ovat menneet poikki, liikeradat ovat olleet vääriä, sekä nipin ja viikkarin välinen ajoitus on ollut pielessä. Murtuneet viikkarit sekä väärät ajoitukset ovat todennäköisimmin käyttäjälähtöisiä vikoja. Käsiäjolla on saattanut tapahtua törmäyksiä, tai liikkeiden viiveille on annettu väärät arvot. Törmäyksiä ja niiden ehkäisemiseksi tarvittavia toimenpiteitä on käsitelty tarkemmin aliluvussa "asetinlaite". Toisaalta viikkarien sylinterit sijaitsevat erittäin pölyisessä paikassa ja pölystä saattaa aiheutua liikkeiden takkuamista, kun likaa kertyy sylinterien liukupinnoille. Pölyämistä on saatu vähennettyä kesäkuussa 2019 tehtyjen muutosten myötä. Pölyämisongelmasta ja sille tehdyistä parannustoimenpiteistä lisää aliluvussa "puhallus, imu, pölynpoisto".

ST752:n viikkarin toiminnassa on havaittu toimintavirhe. Viikkarin pitäisi levittää säkin suuta niin kauan, kunnes nippi saa siitä kiinni, mutta ajoittain viikkari levittää säkkiä vain hetkellisesti ja menee suppuun ennen kuin nippi saa säkistä kiinni. Suljenta voi epäonnistua, kun nippi ei saa vietyä säkin suuta saumausleuoille. Vika on ajoittaista ja viikkari saattaa ensin toimia normaalisti, sitten neljän säkin kohdalla mennä liian aikaisin suppuun ja taas alkaa itsestään toimia normaalisti. Havainnot on tehty 26.8.2019 ja samasta aiheesta on tehty kaksi vikailmoitusta jo 31.12.2018 ja 7.1.2019. Vian aiheuttaja tulee selvittää ja vika korjata mahdollisimman pian. Vaikka kone voikin jatkaa säkitystä, on tässä vaarana ajoittainen suljennan epäonnistuminen, mitä operaattori ei välttämättä huomaa suljennan toimintaa tarkastaessaan. Suljennan epäonnistumista ja sen haittoja on käsitelty tarkemmin aliluvussa "suljenta".

Vasemman ja oikean viikkarin nimiketunnus on toiminnanohjausjärjestelmän laiterakenteessa virheellisesti merkitty varaosaksi kahteen paikkaan, joista väärä tulee poistaa. Tästä tarkemmin aliluvussa "nippi". Viikkarit ovat varastonimikkeinä, ja niitä on ostettu

kaksi paria joulukuussa 2015, mutta yhtään varaosaa ei ole enää varastossa. Varavaraosavaraostoon tulee lisätä molemmat viikkarit sekä pystyliikkeen lineaarijohteet ja pyöräyksiköt.

5.11 Nippi

Nipeistä tehtyyn yhteenvetotaulukkoon 13 kerättyjen tietojen perusteella nipeistä on tehty paljon vikailmoituksia ja niiden vaikutus käytettävyyteen on kohtalainen. Kustannuksia on kertynyt kohtalaisen paljon. Häiriöilmoituksia nipit eivät aiheuta.

Taulukko 13. Yhteenvedo nippien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731	ST752	ST731 ja ST752	Yhteensä
Nippi	Vikailmoitukset [kpl]	14	14	3	31
	Vikakustannukset [€]	3 998 €	4 142 €	4 803 €	12 943 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,33 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Vikailmoituksista 7 kpl koskee nipin sylinterin takapäädyn kiinnityskorvakkeiden murtumista. 5 vikailmoituksessa nippi on jotenkin vääntynyt tai mennyt kieroon. Syynä vaurioille voi olla virheellinen ajojärjestys käsiajolla tai törmäys automaattijolla esimerkiksi silloin, kun sylinterin kiinnike on irronnut ja leuat pääsevät liikkumaan hallitsemattomasti. Nippi on ollut myös osallisena joissakin törmäyksissä, joista on kirjattu vikailmoitus muille alijärjestelmille. Muut vikailmoitukset ovat satunnaisista vioista, ja osassa niistä juurisyy saattaa olla peräisin törmäyksistä. Kahdessa vikailmoituksessa sylinterin anturi on viallinen, kahdessa nipin sylinterit vuotavat, kahdessa nipin kumit ovat kuluneet, kahdessa nipin johteet ja pyöräyksiköt ovat kuluneet ja kahdessa on väärät säätöarvot liikkeille. Loput viat ovat yksittäisiä.

Nipin sylinterin takapäädyn kiinnike on liian heikko ja vaatii uudelleen suunnittelun. Kiinnikettä on jo aikaisemmin hieman vahvistettu, mutta siitä tulee tehdä huomattavasti nykyistä kestävämpi, jotta se kestää murtumatta väsyttävää kuormitusta. Väsyttävää kuormitusta taas on mahdollista vähentää korvaamalla nykyiset sylinterit päätyvaimennetuilla sylintereillä. Käsiajolla tapahtuvien törmäysten välttämiseksi tulee selvittää ja toteuttaa tarpeelliset ja toteuttamiskelpoiset lukitukset käsiajoon. Törmäyksiä ja niiden ehkäisemiseksi tarvittavia toimenpiteitä on käsitelty tarkemmin aliluvussa "asetinlaite".

Nipin horisontaalisiirron johteet ja pyöräyksiköt tulee lisätä varastonimikkeiksi ja ottaa ne varastoon varaosiksi. Nipin viikkareissa eli leuoissa on väärä nimiketunnus. Viikkari-alijärjestelmässä on myös viikkari-nimiset osat, jotka ovat todennäköisesti menneet saman nimensä vuoksi sekaisin nipin viikkareiden kanssa. Nipin viikkarit on nimettävä uudelleen ja vaihtaa nimiketunnus oikeaksi. Nipin viikkarit kannattaa myös ottaa varaosiksi varastoon.

5.12 Suljenta

Suljennan yhteenvedotaulukko 14 osoittaa, että suljentalaitteistoista on tehty paljon vikailmoituksia ja niistä aiheutuneet kustannukset ovat kohtalaisen suuret. Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen on merkittävä. Häiriöilmoituksia suljennasta on aiheutunut vain vähän, ja niillä on vain vähäinen vaikutus käytettävyyteen.

Taulukko 14. Yhteenvedo suljentojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752		ST731 ja ST752	Yhteensä
Suljenta	Vikailmoitukset [kpl]	36	15	3	54
	Vikakustannukset [€]	8 743 €	4 416 €	1 750 €	14 909 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,65 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				3
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,09 %

Vikailmoituksista 26:ssa on kyse saumausleukojen normaalista kulumisesta, esimerkiksi teflonteippien kulumisesta tai vastusnauhan katkeamisesta. Näiden lisäksi neljä vikailmoitusta saumausleuoista on tehty muutaman päivän sisällä edellisestä saumausleukojen korjauksesta, mikä viittaa siihen, ettei tehty korjaus ole täysin onnistunut. Kuudessa vikailmoituksessa saumausleuat eivät ole painuneet koko matkalta tiiviisti toisiaan vasten, mikä johtunee saumausleukojen linjavirheestä tai saumausleukojen epätasaisesta yhteen painautumisesta. Neljässä vikailmoituksessa on kyse lukitustapin kohdistusongelmista, mikä johtuu todennäköisesti eri linjassa olevista suljentavarsista. Lisäksi on joitakin yksittäisiä vikoja. Kolme vikailmoitusta on tehty molempia koneita koskevaa varaosailausta varten.

Suljentakoneistossa on kolme anturia, joista yksi tarkkailee suljentaleuan avautumista ja sulkeutumista, toinen mittaa vastuslankojen resistanssia. Mikäli jompikumpi toiminto havaitsee virheen, esimerkiksi saumausvastus on poikki tai suljentaleuka ei mene kiinni,

tulee häiriöilmoitus. Kolmas anturi mittaa suljentalaitteen korkeutta ja antaa häiriön, mikäli korkeus on väärä. Häiriöilmoitusta puolestaan ei tule silloin, kun esimerkiksi saumaustastukset ovat eri tasossa tai säkki puuttuu kokonaan saumaustastukojen välistä. Kone ei siis aina tunnista, onnistuiko saumaustastus vai ei, jolloin sulkemattomat säkit jäävät huomaamatta.

Suljentakoneistoon liittyviä käytettävyyteen vaikuttavia häiriöilmoituksia on tullut vain 3 kpl, joissa vastuksen resistanssin mittaus on antanut hälytyksen. Kyseessä on todennäköisesti ollut vastusnauhojen sähköjohtojen kosketushäiriö, sillä häiriöistä ei ole seurannut pitkää tuotantokatkosta. Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen on laskettu sen perusteella, että kyseessä on ollut sähköjohtojen kosketushäiriö, jonka operaattori on saanut korjattua omin avuin.

Saumaustastukojen osien kuluminen on säkityskoneiden selkeästi yleisin kunnossapidon apua vaativa vika. Korjaustoimenpiteenä niissä olevat kuluneet osat, kuten vastusnauha ja teflonteippi tulee vaihtaa. Saumaustastukojen vikaantumisista aiheutuu vähiten haittaa tuotannolle, kun molemmille koneille hankitaan toiset saumaustastukset varaosiksi ja operaattorit vaihtavat ne tarvittaessa. Kunnossapito kunnostaa käytetyt saumaustastukset valmiiksi, ja ne varastoidaan molempien säkityskoneiden läheisyyteen. Saumaustastukojen vaihtotyö on yksinkertainen ja nopea, alle 10 minuutin toimenpide, jonka operaattorit pystyvät itse suorittamaan. Operaattoreille laaditaan saumaustastukojen vaihto-ohjeet ja toimitetaan tarvittavat työkalut samaan paikkaan säkityskoneen läheisyyteen. Kun operaattoreilla on valmiudet vaihtaa saumaustastukset itse, ei arvokasta tuotantoaikaa kulu kunnossapidon odotteluun. Näillä toimenpiteillä on mahdollista alentaa saumaustastukojen kulumisesta johtuva epäkäytettävyys 0,58 prosentista alle 0,05 prosenttiin.

Säkitysohjeessa on määritetty, että operaattorin tulee tarkastaa suljentalaitteiston toiminta 30 minuutin välein. Koneen käydessä täydellä teholla tässä ajassa säkkeitä valmistuu noin 80 kpl, jolloin sulkemattomia säkkeitä ehtii valmistua keskimäärin nelisenkymmentä ennen kuin se huomataan. Usein tehtävästä tarkastuksesta ei ole tuotannon kannalta haittaa, sillä tarkastukseen ei kulu minuuttia enempää aikaa ja operaattoreilla on joutilasta aikaa silloin, kun kone toimii hyvin. Säkityskoneiden reklamaatioista vastaavan tuotannonsuunnittelijan mukaan, voidaan säkki sulkea myös käsin jälkikäteen nipusiteella, jos saumaustastus ei onnistunut ja se havaitaan ennen kuljetusta tehtaalta. Säkkin sulkemiseen käsin tarvitaan kuitenkin resursseja ja tuotantoaikaa menee hukkaan. Laatupäällikön mukaan auki jääneestä saumasta tulee muutamia asiakasreklamaatioita vuosittain, mutta varsinaista ongelmaa ei tällä hetkellä ole.

Suljentakoneiston varaosissa ei ole merkittäviä puutteita aiemmin mainittujen vara-
saumausleukojen puuttumisen lisäksi. Pysäytinsylinteri, saumausleukojen laakerit ja
saumausleukojen paininsylinterit ovat varaosanimikkeinä, mutta niitä ei ole liitetty toimin-
topaikalle. Jotta varaosien löytäminen helpottuu, kannattaa edellä mainitut varaosat liit-
tää toiminnanohjausjärjestelmän toimintopaikkaan muiden varaosien tavoin.

Suljentakoneiston osalta on tunnistettu joitakin harkinnanarvoisia jatkotutkimuskohteita,
mikäli auki jäävistä säkeistä aiheutuvia haittavaikutuksia halutaan vähentää. Yksi kohde
on kehittää saumauksen onnistumista tarkkaileva laitteisto, jonka tehtävä on ilmoittaa
operaattorille, kun sauma ei onnistunut. Tällöin säkityskone pysähtyisi, tai ainakin hälyt-
täisi, saumauksen epäonnistuessa, jolloin auki jääneet säkit varmasti huomataan heti.
Laitetoimittajan suunnittelupäällikön mukaan suljennan onnistumisen varmennus olisi
huomattava parannus, mutta he eivät toistaiseksi ole löytäneet siihen toteutuskelpoista
ratkaisua. Jos suljennan onnistumisen kokonaisvaltainen varmistus ei onnistu, voi sau-
mausta tarkkailla vain joiltakin osin esimerkiksi lisäämällä anturit, jotka havaitsevat, mi-
käli säkki ei ole ollenkaan saumausleukojen välissä. Tällä voidaan havaita ainakin osa
auki jäävistä säkeistä.

Toisena kehityskohteenä on saumauksen luotettavuuden parantaminen. Kokeilemi-
senarvoista on nykyistä 4 mm:ä leveämmän vastusnauhan käyttäminen suljennassa.
Tällöin sauma on leveämpi, eikä suljenta ole niin herkkä saumausleukojen linjavirheelle.
Kohdistuksesta aiheutuvien virheiden vähentämiseksi kannattaa harkita myös säkin läm-
mittämisen toteutusta yhdellä vastuksella. Tällöin vastuksen vastakappale voisi olla niin
leveä, ettei linjavirheestä aiheudu haittaa. Näiden lisäksi kannattaa myös selvittää, onko
nykyistä parempilaatuisia ja kestävämpiä materiaaleja saatavilla vastusnauhaan ja sitä
suojaavaan teflonteippiin. Saumausleukojen vaihtoväli pitenee, jos kuluvien osien mate-
riaalit kestävätkä kauemmin. Suljentalaitteiston kehittämisessä kannattaa tehdä yhteistyötä
laitetoimittajan asiantuntijoiden kanssa, sillä heillä on varmasti runsaasti kokemusta eri-
laisten ratkaisujen toimivuudesta.

5.13 Koukku

Taulukossa 15 esitetyn koukuista tehdyn yhteenvedon perusteella on koukuista tehty
paljon vikailmoituksia. Edelleen toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen on kuitenkin
vähäinen, sillä laitteistoon on tehty hiljattain muutoksia ongelmien poistamiseksi. Kus-
tannuksia vioista on kertynyt kohtalaisen paljon. Aiheutuneita häiriöilmoituksia on paljon
ja niillä on suuri vaikutus käytettävyyteen. Tästä huolimatta koukkua ei katsottu tarpeel-
liseksi ottaa mukaan RCM-analyysiin, koska sen suurimmat käytettävyyttä alentavat on-
gelmat aiheutuvat pääosin huonosta säkkilaadusta.

Taulukko 15. Yhteenveto koukkujen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Koukku	Vikailmoitukset [kpl]	13	19	0	32
	Vikakustannukset [€]	6 587 €	5 338 €	0 €	11 925 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,04 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				1104
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				2,45 %

16 vikailmoituksessa on kyse koukun noston kontaktoriongelmaista ja neljässä vikailmoituksessa koukun pyöriksen rajaongelmista. Pyöriksen rajat ovat todennäköisesti vaurioituneet koukun noustessa yli rajojen kontaktorien vikaantumisen seurauksena. 4 vikailmoituksessa koukun käännön raja-antureissa on ollut ongelmia ja 3 vikailmoituksessa nostimen liinat ovat kuluneet. Loput 5 vikailmoitusta ovat yksittäisistä vioista.

Koukun noston kontaktoreita on kaksi, nostolle ja laskulle omansa. Kontaktorit olivat sähköautomaatiosuunnittelijan mukaan alun perin liian heikkoja ja rikkoutuessaan koukun nosto ei joko toiminut ollenkaan tai koukku jatkoi matkaansa ylös asti rajoista huolimatta ja törmäsi lopulta mekaanisiin pysäyttimiin. Törmätessäänkään moottori ei välttämättä pysähtynyt, vaan välillä liinat menivät poikki ja välillä muut osat vaurioituivat. Esimerkiksi koukun pyöriksen anturit vääntyivät usein törmäyksessä. Parannustoimenpiteenä kontaktorit vaihdettiin kestävämpiin toukokuussa 2018, jonka jälkeen vikailmoituksia on tehty vain kaksi, ja niistä toinen koskee liinojen kulumista. Kontaktorit otettiin samalla aikataulutetun ennakko- huollon piiriin, ja ne vaihdetaan nykyään vuosittain, sillä vaihtaminen on nopeaa ja kustannus pieni. Lisäksi vaurioiden vähentämiseksi mekaanisia pysäyttimiä tuotiin alemmas ja niihin lisättiin kumiset vaimentimet, jotta koukun noston kontaktorin vikaantuessa pyöriksen rajat eivät enää vaurioidu. Mekaanisia pysäyttimiä päin ajettaessa moottorin virtasuoja lopulta laukeaa ja katkaisee virransyötön. Tehtyjen toimenpiteiden jälkeen koukun vikailmoitukset ovat vähentyneet merkittävästi ja haastattelujenkin perusteella aikaisemmat ongelmat ovat poistuneet.

Koukun pyöriksen rajojen tunnistuksessa on vikailmoitusten ja kunnossapitohenkilöstön haastattelujen perusteella ollut toisinaan vikaa. Vaikka koukun kontaktoriongelmat on saatu hallintaan, voi pyöriksen tunnistus edelleen epäonnistua. Pyöriksen rajojen tunnistuksen epäonnistuessa koukku pyörähtää yli liikerajojen, ja törmäävät osat, esimerkiksi voimansiirtoketju ja rattaat, saattavat vaurioitua. Lisäksi ST731:llä voi sattua

vakavampia vaurioita, sillä yli liikerajojen pyörähtäneen koukun sylinteri osuu lähellä sijaitsevaan huoltotasoon koukun liikkuesssa pystysuunnassa tason ohi. Vaurioiden ehkäisemiseksi tulee koukun pyörimykselle tehdä mekaaniset pysäyttimet, jotka varmasti estävät koukun pyörimisen yli sallittujen rajojen.

Koukusta aiheutuvien häiriöilmoitusten suuren määrän perusteella voidaan todeta, että säkin nosto on yksi eniten tuotantokatkoksia aiheuttava ja käytettävyyttä alentava vaihe. Häiriöilmoitus tulee, kun säkin nousemista tarkkaileva anturi tunnistaa, ettei säkki nousut, vaikka sen olisi pitänyt nousta. Käytännössä tämä tarkoittaa lähes aina sitä, että koukku ei saanut säkin kahvasta kiinni. Myös koukun käynnön rajatiedot ovat antaneet hälytyksiä. Tämä voi liittyä koukun nosto-ongelmiin, kun koukku on syystä tai toisesta jäänyt epäonnistuneen noston jälkeen väärään asentoon, tai sitten käynnön raja-antureissa on ollut tunnistushäiriöitä. Tunnistushäiriöihin viittaavat myös käynnön raja-antureista tehdyt 4 vikailmoitusta. Käynnön ongelmien vaikutus käytettävyyteen on kuitenkin pieni, eikä niihin kannata keskittyä ennen nosto-ongelmien ratkaisemista.

Jos nosto epäonnistuu ja koukku ei saa otetta säkin kahvasta, säkitys keskeytyy ja tulee häiriöilmoitus, joka tulee kuitata. Säkki voidaan kuitenkin keskeytyksen jälkeen nostaa ajamalla koukku käsiäjällä. Operaattorien mukaan noston epäonnistuessa alle 1 200 kg:n säkkejä ei tarvitse yleensä nostaa ollenkaan, mikäli niitä ei tarvitse pyörittää, vaan häiriön voi yksinkertaisesti kuitata ja jatkaa säkitystä. Tällöin kuitenkin säkin kahva jää alas, mikä hankaloittaa säkin noutamista pyöräkuormaajalla, joten säkin nostovaihetta ei voida kokonaan ohittaa. 1200 kg:n säkin kohdalla ei nostoa voi ohittaa ollenkaan, sillä ilman ryhdistämistä ja keskittämistä leveä säkki osuu kuljettimen teräviin reunoihin ja rikkoutuu.

Operaattorien mukaan noston epäonnistumiselle on kaksi pääsyytä. Toinen ja vähäisempi syy on väärältä korkeudelta säkkiä hakeva koukku ja merkittävämpi syy on kiertynyt säkki. Koukun korkeutta operaattorin on mahdollista säätää, mutta kiertyminen riippuu säkistä, tarkemmin sanottuna siitä, miten sisäsäkki on pakattu ulkosäkin sisään. Toisinaan säkkilaatu on niin huonoa, että säkki kiertyy jatkuvasti niin paljon, ettei koukku saa kahvasta otetta, vaan törmää koukun kahvaan. Laitetoimittajan ratkaisu ongelmaan on säkin pyörityslaitteisto, joka säkissä olevan logon perusteella osaa pyörittää säkin oikeaan asentoon aukipuhallusvaiheessa. Pyörityslaitteiston kustannus on noin 35 000 € asentamattomana. Koukun oikea korkeudensäätö on ratkaiseva noston onnistumisen kannalta. Jos koukku on liian ylhäällä, se ei yllä kahvaan, ja jos koukku taas on liian alhaalla, sen kärki rikkoo sisäsäkin ja säkki joudutaan sulkemaan käsin nippusiteellä. Koukun korkeutta täytyy tarkkailla ja tarvittaessa muuttaa, sillä säkissä olevan lannoite-

patsaan korkeus muuttuu tuotteen tilavuuspainon vaihdellessa. Tuotteesta tehtyjen laboratorioanalyysien perusteella tuotteen tilavuuspaino voi vaihdella jopa yli 10 % samalla tuotelajikkeella, mikä tarkoittaa yli 10 cm:n korkeuseroja säkkien välillä.

Koukun korjausta varten ST752:lle tehtiin huoltotasolle lisäosa kesällä 2018 ja ST731:lle rakennettiin kokonainen huoltotaso toukokuussa 2019. Nyt molemmilta huoltotasoilta on pääsy koukun kunnossapitoa vaativiin kohteisiin. Huoltotasojen tarve on parannustoimenpiteiden vuoksi vähentynyt, mutta tarvittaessa tasot ovat erittäin hyödyllisiä, sillä huoltotasojen ansiosta enää ei tarvitse rakentaa telineitä koukun huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten. Koukun vikaantuessa telinekustannuksia ei enää tule ja korjausten nopeutuessa myös tuotantokatkokset lyhenevät.

Käytettävyyden parantamiseksi tulee säkkien noston onnistumista parantaa ohjeistamalla käyttäjille koukun korkeussäätöä. Koukun säätöön on olemassa hyvät ohjeet, jotka on hyvä kerrata operaattorien kanssa ja tulostaa ne säkityskoneen läheisyyteen, jolloin niistä voi helposti katsoa ohjeita. Hihnojen kelausakselin laakerit kannattaa lisätä varastonimikkeeksi ja ottaa varastoon. Liinojen kulumista kannattaa tarkkailla kuntotarkastusten yhteydessä ja vaihtaa liinat, kun merkittävää kulumaa on havaittavissa.

Säkin kiertymisongelman ratkaiseminen vaatii ratkaisumahdollisuuksien tarkempaa tutkimista ja kehittämistä. Tällä hetkellä aktiivinen operaattori voi välttää säkinnostovirheen pyörittämällä koukkua ennakkoon havaitessaan kiertyneen säkin saapuvan koukulle. Kun koukkua on pyöritetty saman verran kuin säkki on kiertynyt, koukku ei törmää säkin kahvaan ja nosto onnistuu. Tällä hetkellä tämä toimenpide on hankala toteuttaa. Se tulee tehdä jokaisen säkin kohdalla erikseen, sillä koukku palaa aina keskelle odottamaan seuraavaa säkkiä. Parempi olisi, jos operaattori pystyisi erillisestä kytkimestä valitsemaan, mihin asentoon koukku jää odottamaan säkkiä sekä muuttamaan tätä valintaa helposti ja nopeasti. Oikein edistyksellisesti toteutettuna kone tunnistaisi säkin kiertymisen esimerkiksi säkin logon perusteella ja pyörittäisi koukkua automaattisesti. Tällöin ei tarvita laitetoimittajan tarjoamaa erillistä pyörityslaitteistoa ja säästyään yhdeltä työvaiheelta. Säkkien kiertymisongelman juurisyy on kuitenkin huono ja vaihteleva säkkilaatu, joten ensimmäisenä asia kannattaa ottaa säkkivalmistajien kanssa puheeksi ja keskustella, onko ongelman poistamiseksi tehtävissä jotain.

5.14 Pukkari

Yhteenvetotaulukossa 16 esitettyjen tietojen perusteella on pukkareista tehty vähän viikailmoituksia ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön. Aiheutuneet kustannukset ovat pienet. Pukkarit eivät ole aiheuttaneet häiriöilmoituksia.

Taulukko 16. Yhteenveto pukkarien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja			Yhteensä
		ST731	ST752	ST752	
Pukkari	Vikailmoitukset [kpl]	7	0	0	7
	Vikakustannukset [€]	1 483 €	0 €	0 €	1 483 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Pukkareissa ei vikailmoitusten perusteella ole toistuvia vikoja, vaan viat ovat yksittäisiä, eikä siten ongelmia ole havaittavissa. Viimeisin vikailmoitus pukkarista on tehty lokakuussa 2017. Haastattelujen perusteella pukkari ei aina ole käytössä, sillä kaikki operaattorit eivät miellä työvaihetta tarpeelliseksi. Joidenkin operaattorien mielestä sisäsäkin suun työntäminen ulkosäkin sisään altistaa sisäsäkin vaurioille, kun kuormaajalla nostetaan kahvasta. Pukkari ei aina onnistu työntämään sisäsäkkiä ulkosäkin sisään, mutta tästä ei aiheudu häiriöilmoitusta. Toiminnon epäonnistuminen johtuu todennäköisesti kourun väärästä nostokorkeudesta.

ST752:lla pukkarista on puuttunut nuppi useamman kuukauden ajan, eikä pukkari ole sinä aikana ollut ollenkaan käytössä. Operaattorien kommentit ja pukkarin käyttämättömyys kyseenalaistaa koko pukkarin tarpeellisuuden. Pukkarin poistamista tulee harkita, mikäli työvaihe todetaan tarpeettomaksi. Pukkarin sylinteri on varastonimikkeenä ja varaosana, mutta sitä ei ole liitetty toimintopaikalle. Sylinteri tulee liittää toimintopaikalle muiden varaosien tavoin, mikäli pukkaria ei todeta tarpeettomaksi.

5.15 Hihnakuuljettimet

Hihnakuuljettimista tehtyyn yhteenvetotaulukkoon 17 kerätyt tiedot osoittavat, että hihnakuuljettimista on tehty alijärjestelmistä eniten vikailmoituksia ja niistä on aiheutunut eniten kustannuksia. Kuitenkin toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön, sillä laitteistoon on tehty hiljattain muutoksia ongelmien poistamiseksi. Häiriöilmoituksia hihnakuuljettimista ei ole aiheutunut.

Taulukko 17. Yhteenveto hihnakuuljettimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			Yhteensä
Hihnakuuljettimet	Vikailmoitukset [kpl]	38	29	0	67
	Vikakustannukset [€]	18 587 €	14 768 €	0 €	33 356 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,08 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Suuri vikailmoitusten määrä ja suuret kustannukset selittyvät pitkälti – mutta ei kokonaan – säkkien kaatumisongelmalla. Hihnakuuljettimia koskevista vikailmoituksista 28:ssä vian aiheuttajana on kaatunut säkki. Näistä aiheutuneet kustannukset ovat 8 476 €. Toinen merkittävä vika on hihnakuuljettimien pehmokäynnistimien suunnitteluvirheestä johtuvat viat, joista vikailmoituksia on tehty 5 kpl kummastakin säkityskoneesta. Kustannuksia näille kymmenelle vikailmoitukselle on kertynyt 5 753 €. Molemmat viat on saatu hallintaan, eikä niiden vaikutusta käytettävyyteen sen vuoksi ole laskettu. Kuuljettimien modifikaatioita varten tehtyjä vikailmoituksia on 3 kpl, joista on kustannuksia 8 625 €. Modifikaatiot sisältävät säkin kaatumisesta aiheutuvien vaurioiden vähentämiseksi tehdyt kaatumakaiteet, jarrumoottorin lisäyksen ST752:n viimeiselle hihnalle sekä kuuljettimien kitasuojien muokkauksen, jotta säkit eivät niiden teräviin reunoihin osuessa repeytyisi. Lopuissa vikailmoituksissa on kyse yksittäisistä tapahtumista, joista kolmessa kyseessä on käyttäjän tekemä virhe.

Aikaisemmin, säkityskoneen saapumisesta asti oli ongelmana säkkien kaatuminen hihnalle. Tämä aiheutti etenkin hihnakuuljettimien antureihin ja niiden peileihin runsaasti vaurioita, kun säkki kaatui ja/tai lähti kaatuneena etenemään hihnalla. Säkin kaatumiset työllistivät kunnossapitoa paljon. On myös huomioitava tässä kohdassa, että operaattoreita säkkien kaatuminen työllisti vielä enemmän, sillä he joutuivat aina säkin kaatuessa poistamaan säkin hihnalta ja siivoamaan pahimmillaan yli 1 000 kg lannoitetta säkityskoneen ympäriltä. Lisäksi säkin poiston, siivouksen ja korjaustoimenpiteiden ajan tuotanto on ollut pysähdyksissä. Operaattorien tekemän ylimääräisen työn ja tuotantokatkoksen aiheuttamat kustannukset eivät näy toiminnanohjausjärjestelmän jo muutenkin suurissa kustannuksissa. Todellisuudessa säkin kaatumisia on ollut enemmän kuin niistä tehtyjä vikailmoituksia, sillä vikailmoitukset on tehty ainoastaan silloin, kun kaatunut säkki on

rikkonut jotain ja korjaukset ovat vaatineet kunnossapidon apua. Jos operaattori on huomannut kaatuneen säkin ennen kuin hihnakuljetin on lähtenyt liikkeelle ja pysäyttänyt koneen toiminnan, ei vaurioita ole välttämättä ehtinyt tulla.

Viimeinen säkin kaatumisen seurauksena tehty vikailmoitus on luotu maaliskuussa 2017. Operaattorien ja kunnossapitohenkilökunnan yhteinen näkemys haastatteluissa tukevat johtopäätöstä siitä, ettei säkin kaatumisongelmaa enää ole. Säkin kaatumisista on päästy eroon tekemällä muutoksia koneen logiikkaan. Joitakin toimintoja hidastettiin, jotta kone ehtii tehdä kaikki liikkeet rauhassa. Tehdyt muutokset pienensivät hieman tuotantokapasiteettia, mutta tilanteeseen ollaan nyt yleisesti tyytyväisiä. Koska ongelmaa ei tällä hetkellä ole, ei tässä työssä tarkastella tämän enempää säkin kaatumisen syitä tai sen estämiseksi tehtyjä toimenpiteitä.

Pehmokäynnistimien rikkoontuminen on ollut yksi merkittävimmistä hihnakuljettimien vi-oista. Pehmokäynnistimiä on noudettu varastosta yhteensä 8 kpl. Syynä vikaantumisiin oli sähköautomaatiosuunnittelijan mukaan vääräntyyppinen komponentti useita kertoja minuutissa pysähtelevään kuljettimeen. Nyt pehmokäynnistimet on poistettu molemmista koneista ja tilalle vaihdettu kontaktorit kaikkiin muihin kuljettimiin, paitsi piipun alla oleviin ensimmäisiin kuljettimiin, jotka ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä. Tämä sen vuoksi, että ensimmäisen kuljettimen tulee lähteä pehmeästi liikkeelle, jottei säkki mene vinoon äkillisen kiihdytyksen vuoksi. Pehmokäynnistimet vaihdettiin kontaktoreiksi toukokuussa 2017 ja ensimmäiset kuljettimet muutettiin taajuusmuuttajakäyttöisiksi toukokuussa 2018. Viimeinen pehmokäynnistimistä tehty vikailmoitus on tehty toukokuussa 2017. Tämän jälkeen kuljettimien kontaktoreista on tehty yksi vikailmoitus marraskuussa 2018. Yksittäisestä viasta huolimatta tällä hetkellä vaikuttaa siltä, että nykyiset komponentit toimivat halutusti, eikä tarvetta muutoksille ole.

Yhteenvedona hihnakuljettimista voidaan todeta, että vaikka niissä on ollut paljon ongelmia, on usein toistuvat ongelmat saatu ratkaistua, eivätkä hihnakuljettimet tällä hetkellä vaadi erityistä tarkastelua. Muutoksille tai ennakoiville kunnossapitotoimenpiteille ei ole tarvetta. Myös toiminnallisesti hihnakuljettimet toimivat mallikkaasti. Ne kuljettavat säk-kejä suunnitellusti, eikä niiden takia aiheudu toimintahäiriöitä.

Ainoana hihnakuljettimiin liittyvänä kehityskohteena on tunnistettu heikko varautuminen hihnarikkotilanteisiin. Molempien säkityskoneiden kaikkien kuljettimien hihnat (noutorul-laimen hihnaa ei käsitellä tässä kappaleessa) ovat alkuperäisiä. Niitä ei ole vaihdettu kertaakaan reilun neljän vuoden aikana. Hihnat ovat edelleen kohtuullisen hyvässä kun-nossa, eikä näkyvissä ole vaihtotarvetta. Hihnat ovat hidaskulkuisia, kevyellä kuormituk-

sella ja hyvissä olosuhteissa, joten niiden odotetaan kestävän vielä pitkään. Säkityskoneiden hihnakuljettimien hihnoja ei pidetä yrityksen omassa varastossa, eikä niille ole luotu varastonimikkeitä. Hihnojen toimitusaika on kuitenkin todella pitkä, noin 8–9 viikkoa tilauksesta. Tämä tarkoittaa sitä, että tällä hetkellä hihnan vioittuessa käyttökelvottomaksi säkityskone on pois käytöstä yli kaksi kuukautta, mistä aiheutuu kohtuuttoman suurta haittaa tuotannolle.

Hihnojen vaihdot ostetaan palveluna hihnatoimittajalta, joka kanssa on tehty sopimus erikseen sovituille kuljetinhihnoille niiden rikkoutumisen varalle. Hihnatoimittajalla on hälytysjärjestelmä äkillisten vaurioiden viipymätöntä korjausta varten. Sopimukseen kuuluu, että hihnan asentajat ovat Uudessakaupungissa hihnan ja tarvittavien työkalujen kanssa viiden tunnin kuluttua korjaustarveilmoituksen vastaanottamisesta. Mikäli tilanne ei vaadi välitöntä reagointia ja hälytysjärjestelmää ei tarvita, on hihnatoimittaja sitoutunut vaihtamaan sopimukseen kuuluvat hihnat seuraavana työpäivänä, mikäli ilmoitus korjaustarpeesta annetaan edeltävänä päivänä ennen klo 17. Kunnossapitokoordinaattorin mukaan yhteistyöstä hihnatoimittajan kanssa on positiivisia kokemuksia ja reagointi vauriotilanteissa toimii hyvin. Säkityskoneen kuljetinhihnat eivät kuitenkaan tällä hetkellä kuulu tämän sopimuksen piiriin, minkä vuoksi toimitusaika on pitkä.

Vaikka hihnat ovatkin pitkäikäisiä, on niiden vioittuminen mahdollista ja vioittumisella on erittäin vakavia tuotannollisia seurauksia. Tämän vuoksi on syytä pohtia säkityskoneiden kuljetinhihnojen lisäämistä edellä mainitun, jo hyväksi havaitun, sopimuksen piiriin. Vaihtoehtoisesti tarvittavat hihnat voidaan hankkia yrityksen omaan varastoon Uuteenkauunkiin ja sopia hihnatoimittajan kanssa edellä mainitun sopimuksen mukaisesta vaihtotyöstä. Hihnat ovat kaikissa kuljettimissa samaa tyyppiä, ja ainoastaan pituudet vaihtelevat. Mikäli varastoidaan yhtä, pisintä hihnaa, on siitä mahdollista leikata tarvittaessa jokaiseen kuljettimeen sopiva pätkä. Tällöin varastoon sitoutuu ainoastaan yhden hihnan verran pääomaa, noin 2 000 €. Sisällytetäänpä hihnat sopimuksen piiriin hihnatoimittajan varastoitavaksi tai otetaanpa ne omaan varastoon, putoaa molemmissa tapauksissa seisokkiaika hihnavaurion sattuessa yhdeksästä viikosta alle vuorokauteen. Tämä on huomattava parannus nykyiseen tilanteeseen verrattuna.

5.16 Leimauslaite

Leimauslaitteista tehtyyn yhteenvetotaulukkoon 18 kerättyjen tietojen perusteella leimauslaitteista on tehty paljon vikailmoituksia ja niiden vaikutus käytettävyyteen on kohtalainen. Kustannuksia on kertynyt kohtalaisen paljon. Häiriöilmoituksia leimauslaitteet eivät aiheuta.

Taulukko 18. Yhteenveto leimauslaitteiden vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Leimauslaite	Vikailmoitukset [kpl]	23	17	5	45
	Vikakustannukset [€]	10 141 €	4 615 €	1 024 €	15 780 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,36 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Vikailmoituksista nousee esille kolme toistuvaa vikaa, jotka on käsitelty tarkemmin seuraavissa kappaleissa. 4 vikailmoituksessa on kyse kirjoittimien huollosta tai tarvike tilauksesta. Loput 11 vikailmoitusta ovat yksittäisistä vioista. Häiriöilmoituksia leimauslaite ei aiheuta, eikä se siten keskeytä automaattisesti tuotantoa vikaantuessaan. Leimauslaitteen toiminnan tarkkailu on operaattorien vastuulla.

16 vikailmoitusta on tehty vinossa olevasta leimauslaitteesta. Kunnossapitäjien mukaan leimauslaite menee usein vinoon samasta laakeroidusta nivelestä, kun se on törmännyt johonkin. Esimerkiksi kaatunut tai vajaa säkki voi aiheuttaa törmäyksen silloin, kun leimauslaitetta ei ole otettu pois päältä ja/tai se ei asetu sivuun pois hihnakuljettimen päältä. Vajaaseen säkkiin törmäminen voidaan estää kytkemällä leimauslaite automaattisesti pois päältä aina, kun säkitys lopetetaan ja täytetään viimeistä jäännöseräsäkkiä. Tosin, usein leimauslaite jää hinnan päälle, vaikka se kytketään pois päältä. Tämä vika tulee korjata mahdollisimman pian. Aikaisemmin ST752:lla leimauslaite saattoi myös jäädä kahden säkin väliin, kun säkkejä noutava kuormaaja työnsi säkkijonoa taaksepäin kuljettimella. Nykyään tämä on estetty kuljettimen moottoriin lisätyllä takaisinpyörintäjarrulla. Sama toimenpide kannattaa tehdä myös ST731:lle, mikäli sille nähdään tarvetta.

Hieman vinossa oleva leimauslaite ei kuitenkaan useimmiten haittaa säkitystä, vaan sitä voidaan jatkaa normaalisti. Leimauslaitteen suoristus onnistuu nopeasti ilman varaosia, ja se voidaan tehdä tuotantotilanteen salliessa. Kunnossapitoasentajien mukaan kyseessä on suunnitteluvirhe, jonka korjaamisesta on keskusteltu laitteen toimittajan kanssa vuosia sitten, mutta korjauksia ei jostain syystä ole toteutettu. Jos ongelma halutaan poistaa, täytyy nivelestä tehdä vahvempi ja joustamaton. Uudelleensuunnittelussa kannattaa kuitenkin huomioida, että nivel on ollut leimauslaitteen heikoin kohta, josta laite on joutanut törmäyksessä ilman kovinkaan haitallisia seurauksia. Jos nivelestä tehdään vahva, saattaa vauriokohta vaihtaa paikkaa haitallisempaan ja vaikeammin korjattavaan kohtaan. Huomioitavaa on, että juurisyy vinoon menneeseen leimauslaitteeseen

ei ole nivel, vaan törmäys vajaan tai kaatuneen säkin kanssa tai muu vastaava epänormaali tilanne.

9 vikailmoitusta on tehty vinossa tai löysässä olevasta mustesuihkukirjoittimesta. Kirjoitin löystyy ajan mittaan kiinnityksestään, kun leimauslaite liikkuu edestakaisin jokaisen säkin kohdalla ja tärähtää aina osuessaan säkkiin sekä joskus palatessaan säkinodotusasentoon. Lisäksi kirjoitin on tuettu ainoastaan yhdestä pisteestä ja tärähdysten voimakkuutta lisää usein epäkunnossa olevat mekanismin vaimentimet. Kirjoittimen kiinnitys tulisi suunnitella tukevammaksi, jotta kiinnitys ei löysty tai pahimmassa tapauksessa rikkoudu tärähdyksistä. Kuntotarkastuskierrosten yhteydessä tulee suorittaa leimauslaitteen toimintakoe, jossa tarkastetaan mekanismin ja vaimentimien toiminta. Jos vaimentimet vikaantuvat usein, tulee ne vaihtaa kestävämpiin. Kirjoitin voi myös mennä vinoon tai vaurioitua vajaan säkkiin osuessaan.

6 vikailmoitusta on tehty vikaantuneesta mustesuihkukirjoittimesta. Joskus kyse on puhdistuksen tarpeesta, mutta jos leimauslaite ei puhdistuksesta huolimatta toimi, se lähetetään suoraan laitetoimittajalle huoltoon ja varakirjoitin asennetaan paikoilleen. Kohdeyrityksen oma kunnossapito hoitaa leimauslaitteen kirjoittimien vaihtotyöt, mutta ei huolla niitä. Leimauslaitteessa on kaksi kirjoitinta, jotta sillä pystytään kirjoittamaan korkeammalle alueelle tekstiä. Pääsääntöisesti kuitenkin vain toinen kirjoittimista on käytössä, jolloin toisen kirjoittimen vikaantuessa voidaan toinen ottaa tilapäisesti käyttöön. Vikaantuneen kirjoittimen voi siten vaihtaa rauhassa tuotantotilanteen salliessa. Kirjoittimen vaihto on yksinkertainen ja nopea toimenpide, jonka operaattorit voisivat suorittaa myös itse. Operaattoreille tulee laatia tähän toimintaohjeet, jotta he osaavat toimia oikein kirjoittimen vikaantuessa. Toimintaohjeet tulee toimittaa varaosineen ja tarvittavine työkaluineen sovittuun paikkaan säkityskoneiden läheisyyteen.

Koska leimauslaite ei hälytä leimauksen epäonnistuessa, on leimauslaitteen toiminnan tarkastaminen operaattorien vastuulla. Säkitysohjeessa leimauslaitteen toiminta on määritetty tarkastettavaksi 30 minuutin välein. Koneen käydessä täydellä teholla tässä ajassa säkkejä valmistuu noin 80 kpl, jolloin leimaamattomia säkkejä ehtii valmistua keskimäärin nelisenkymmentä, ennen kuin se huomataan. Usein tehtävästä tarkastuksesta ei ole tuotannon kannalta haittaa, sillä tarkastukseen ei kulu minuuttia enempää aikaa ja operaattoreilla on joutilasta aikaa silloin, kun kone toimii hyvin. Mikäli säkkejä jää leimaamatta, on tätä varten hankittu käsikirjoitin, jolla voidaan tilapäisesti korvata leimauslaite. Jos leimaamattomia säkkejä on huomaamatta päässyt varastoon, täytyy ne säkityskoneiden reklamaatioista vastaavan tuotannonsuunnittelijan mukaan etsiä säkkikasasta ja leimata käsin, mikä on hidasta ja työlästä. Jos leimauslaite ei toimi, ja halutaan siitä huolimatta säkittää, vaatii käsin leimaus yhden henkilön täyden työpanoksen. Laatupäällikön

mukaan leimaamattomista säkeistä ei juurikaan ole asiakasreklamaatioita tullut, joten ongelmaa sen suhteen ei tällä hetkellä ole.

Varastonimikkeiksi tulee lisätä leimauslaitteen varren molempien päiden laakerit, varren kääntösylinteri, pulssianturi sekä mekanismin iskunvaimentimet. Jatkotutkimusta leimauslaitteen osalta vaatii leimauksen onnistumista tarkkailevan laitteiston kehittäminen. Laitteiston tehtävä on ilmoittaa, kun leimaa ei tullut, jolloin säkityskone pysähtyy tai ainakin hälyttää. Tällöin leimaamattomat säkit varmasti huomataan ennen kuin ne viedään varastoon tai asiakkaalle. Vaikka leimaamattomia säkkejä ei asiakaspalautteen mukaan juuri ole, on tällainen parannus säkityskoneiden reklamaatioista vastaavan tuotannon-suunnittelijan mukaan toivottavaa, jotta ylimääräiseltä työltä vältytään tilanteissa, joissa leiman puuttuminen on jäänyt huomaamatta. Leiman puuttuminen ei pilaa itse lannoitetta, kuten suljennan epäonnistuminen saattaa tehdä, mutta tuote ei silloin täytä lakisäateistä jäljitettävyyssvaatimusta. Ongelmaan auttaa myös leiman sijoitus niin, että se on aina kuormaajakuskiin päin osoittavalla sivulla. Tilanteesta riippuen kuljettaja näkee säkkejä noutaessaan jokaisen tai vähintään joka kolmannen säkin, jolloin leiman puuttuminen todennäköisesti huomataan heti säkkiä noudettaessa.

5.17 Hydraulikkayksikkö

Hydraulikkayksiköiden yhteenvetotaulukko 19 osoittaa, että hydraulikkayksiköistä on tehty kohtalaisesti vikailmoituksia ja niistä aiheutuneet kustannukset ovat kohtalaisen suuret. Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen on merkittävä. Häiriöilmoituksia hydraulikkayksiköistä ei suoranaisesti aiheudu, vaan mahdolliset häiriöt näkyvät piipun ja suljentakoneiston väärän koron aiheuttamina häiriöinä.

Taulukko 19. Yhteenveto hydraulikkayksiköiden vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Hydraulikkayksikkö	Vikailmoitukset [kpl]	7	11	0	18
	Vikakustannukset [€]	6 162 €	7 021 €	0 €	13 182 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				0,20 %
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Vikailmoituksista 9 kpl koskee hydraulikkayksikön aiheuttamia vääriä tai hitaita liikkeitä suljentakoneistossa ja piipussa. Haastattelujen perusteella syynä on ollut pääosin ongelmat magneettiventtiileissä. Magneettiventtiilien ohjausreleet ovat vikaantuneet, jolloin venttiilit eivät ole sulkeutuneet ja avautuneet tarkoitettusti tai magneettiventtiilien toiminta on takkuillut epäpuhtauksien vuoksi. Toimintojen takkuilu voi johtua myös tukkeutuneista hydrauliohjauksuodattimista. Vikailmoituksista 6 kpl koskee erilaisia öljyvetoja, joista ei ole tarkempaa tietoa. Kunnossapitoasentajien mukaan hydraulikkayksikön painemittareita on vaihdettu moneen kertaan, koska niihin on tullut ulkoisia vaurioita ja alkaneet vuotaa öljyä. Loput 3 vikailmoitusta koskevat ennakkohuoltoja.

Hydraulikkayksikön magneettiventtiiliongelmien ehkäisemiseksi magneettiventtiilien ohjausreleet on otettu aikataulutetun ennakkohuollon piiriin, ja ne uusitaan nykyään vuosittain. Tämä on perusteltua, sillä releiden vikaantuminen voi aiheuttaa törmäysten vuoksi merkittäviä vaurioita laitteistolle ja releiden vaihtokustannus töineen on vain kymmeniä euroja. Aikataulutetun uusimisen käyttöönoton jälkeen ei ongelmia ole ilmennyt.

Kunnossapitäjien mukaan hydraulikkavuodoille ei ole yhtä aiheuttajaa, mutta yleisin syy, painemittarin rikkoontuminen, johtuu ulkoisesta osumasta. Ulkoiset osumat voidaan estää suojaamalla mittari esimerkiksi suojakehikolla. Usein vuodot ovat olleet niin pieniä, ettei niillä ole ollut vaikutusta tuotantoon, eikä siten säkityskoneen käytettävyyteen. Hydraulikkayksiköiden ympäristät ovat havaintojen perusteella likaiset ja öljyiset, ja ne tulee puhdistaa perusteellisesti niin, että alkavat vuodot on mahdollista havaita.

Hydraulikkayksikön huolto-ohjeen mukaan ensimmäinen öljynvaihto ja öljysäiliön puhdistus tulee suorittaa 500 käyttötunnin jälkeen ja seuraavat öljynvaihdot 2 000 tunnin välein tai kerran vuodessa. Vikailmoitusten mukaan säkityskone ST731 on hälyttänyt hydraulikkayksikön huoltoa jo maaliskuussa 2016, mutta ensiöljyt molempiin koneisiin vaihdettiin kunnossapitoasentajien mukaan kuitenkin vasta vuosien 2017 ja 2018 vaihteessa. Laskennallisesti ensimmäiset 500 tuntia on tullut täyteen jo keväällä 2015, joten pahimmillaan ensiöljyjen vaihto on tehty lähes kolme vuotta ja tuhansia tunteja myöhässä. Tämä selittää suuren osan hydraulikkayksikön jumittavista magneettiventtiileistä ja järjestelmässä olevien epäpuhtauksien aiheuttamista ongelmista.

Hydrauliöljyn kunto kannattaa ottaa seurantaan esimerkiksi öljyanalyysien avulla ja vaihtaa öljyt ja suodattimet valmistajan suosituksesta poiketen vasta tarpeen vaatiessa. Kun öljy vaihdetaan vasta analyysissä ilmenneen vaihtotarpeen perusteella, ei kalliita öljynvaihtoja tule tehtyä turhaan ja turhilta ilmausongelmilta välttää. Hydrauliöljyn joukkoon meneviä ulkopuolisia epäpuhtauksia on mahdollista vähentää korottamalla öljysäiliön päällä olevaa huohotinta, sillä nyt huohotin on todella lähellä pölyisen öljysäiliön kantta.

Korotettuna se ei pääse imemään lannoitepölyä säiliön kannesta. Varaosapuutteita ei hydraulikkayksikön osalta havaittu.

5.18 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttajista tehtyyn yhteenvedotaulukkoon 20 kerättyjen tietojen perusteella taajuusmuuttajista on tehty vähän vikailmoituksia ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkitykseton. Kustannuksia on kertynyt maltillisesti. Häiriöilmoituksia taajuusmuuttajista on aiheutunut vain vähän ja niiden vaikutus käytettävyyteen on pieni.

Taulukko 20. Yhteenvedo taajuusmuuttajien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731	ST752	ST731 ja ST752	Yhteensä
Taajuusmuuttajat	Vikailmoitukset [kpl]	5	3	0	8
	Vikakustannukset [€]	1 419 €	817 €	0 €	2 236 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkitykseton
	Häiriöilmoitukset [kpl]				4
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,06 %

Vikailmoituksista 5 kpl koskee taajuusmuuttajahäiriöitä ja 3 kpl muistikorttiongelmia, joista yksi on varaosamuistikortin hankinta. Sähköautomaatiosuunnittelijan mukaan taajuusmuuttajien häiriöt johtuvat usein moottorien ylikuormituksesta ja säkitystä voi jatkaa kuittaamalla häiriön pois taajuusmuuttajan käyttöpaneelistä. Joskus häiriökuittauksen yhteydessä taajuusmuuttajan asetukset ovat menneet väärin ja säkityskone ei ole käynnistynyt, koska taajuusmuuttaja on kytketty paikallisajolle. Kaikki operaattorit eivät kuittaa taajuusmuuttajan häiriötä, vaan pyytävät avuksi kunnossapitoa. Taajuusmuuttajan häiriön kuittaukselle kannattaa tehdä selkeä ohje, jonka perusteella kaikki operaattorit osaavat itsenäisesti kuitata taajuusmuuttajahäiriön. Ohjeeseen tulee myös lisätä erityishuomio paikallis- ja automaattiajon valinnasta tahattoman paikallisajon kytkemisen välttämiseksi.

Sähköautomaatiosuunnittelijan mukaan taajuusmuuttajien muistikortteja rikkoutui paljon alkuvaiheessa. Tämä johtui siitä, että aina turvaovia avattaessa taajuusmuuttajilta katkesi äkillisesti sähköt. Taajuusmuuttajille lisättiin ulkoinen sähkönsyöttö heinäkuussa 2015, jonka jälkeen sähköt eivät enää katkeilleet ja muistikorttiongelmien poistuivat. Vii-

meinen vikailmoitus taajuusmuuttajista on tehty marraskuussa 2017, eikä niissä tällä hetkellä ole toimenpiteitä vaativia vikoja. Lisäksi tarvittavat taajuusmuuttajat ovat varastossa varaosina mahdollisten vikaantumisten varalta.

5.19 Vaaka

Vaakojen yhteenvetotaulukko 21 osoittaa, että vaaista on tehty kohtalaisesti vikailmoituksia ja niistä aiheutuneet kustannukset ovat kohtalaiset. Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön. Häiriöilmoituksia on aiheutunut kohtalaisen paljon ja niiden vaikutus käytettävyyteen on merkittävä.

Taulukko 21. Yhteenveto vaakojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			Yhteensä
Vaaka	Vikailmoitukset [kpl]	12	6	0	18
	Vikakustannukset [€]	6 836 €	618 €	0 €	7 453 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				331
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,17 %

Vikailmoituksista 4 kpl liittyy vaa'an vakautukseen ja 3 kpl vaa'an pohjaluukun sylinterin pikapoistoventtiilin äänenvaimentajan irtoamiseen. Lisäksi 2 vikailmoitusta koskevat pohjaluukun sylinteriä ja 2 kpl muuten pohjaluukkuja. Loput 7 vikailmoitusta ovat satunnaisista vioista, epäpuhtaudesta tai käyttövirheistä johtuvia. Toistuvia vikoja ei vikailmoitusten perusteella ole.

Vaa'an annosteluvirhettä koskeva häiriöilmoitus tulee, kun vaa'alle annosteltu tuotemäärä painaa enemmän tai vähemmän kuin sille asetetut raja-arvot. Operaattorien mukaan määrä menee aina rajan yli, jolloin säkkiin tulee liikaa tavaraa. Tuotannon kannalta tästä ei aiheudu muuta haittaa, kuin virheen kuittaamisen vaiva. Ylimääräisen lannoitteen joutumista säkkiin tulee kuitenkin kustannussyistä välttää. Operaattorien mukaan virheiden lisääntyminen on merkki vaa'an puhdistustarpeesta. Virheiden määrää pystyy myös vähentämään muuttamalla annostelun aika-asetuksia, mutta se ei poista itse ongelmaa. Puhdistuksen jälkeen annosteluvirheet yleensä vähenevät. Puhdistuksella ei yleensä ole kiire ja sen voi suorittaa tuotantotilanteen salliessa, joten sillä ei ole juuri vaikutusta tuotantoon.

ST731:llä vaa'an ja etenkin sen pohjaluukun huoltoa helpottaa ja nopeuttaa toukokuussa 2019 rakennettu kokonainen huoltotaso. Lisätty huoltotaso on tarvittaessa erittäin hyödyllinen, sillä sen ansiosta ei enää tarvitse rakentaa telineitä huoltotoimenpiteitä varten. Vaa'an vikaantuessa telinekustannuksia ei enää tule ja korjausten nopeutuessa myös tuotantokatkokset lyhenevät. ST752:lla on aina ollut kunnon huoltotaso vaa'an ympärillä. Puhallus-, imu- ja pölynpoistolaitteeseen tehdyt pölynhallinnan muutokset saattavat vähentää vaa'an puhdistustarvetta ja siten annosteluvirheitä. Pölynhallintaan liittyviä muutoksia on käsitelty tarkemmin aliluvussa "puhallus, imu, pölynpoisto". Vaa'an vakausta tukee suorittaa kaupallisten varmennettujen vaakojen vaatimusten mukaisesti. Vaakaa koskevia varaosapuutteita ei havaittu.

5.20 Näytteenotin

Yhteenvetotaulukossa 22 esitettyjen tietojen perusteella näytteenottimista on tehty vain vähän vikailmoituksia, eikä häiriöilmoituksia ole aiheutunut. Kummankin vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön. Lisäksi aiheutuneet kustannukset ovat pienet.

Taulukko 22. Yhteenveto näytteenottimien vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			
		ST731	ST752	ST752	Yhteensä
Näytteenotin	Vikailmoitukset [kpl]	0	1	0	1
	Vikakustannukset [€]	0 €	181 €	0 €	181 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				N/A
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				N/A

Näytteenottimesta on kirjattu ainoastaan 1 vikailmoitus ja siinäkin ongelman aiheuttajana on epäpuhtaus. Haastatteluissa ei ole tullut esille näytteenotinta koskevia toimintahäiriöitä tai vikoja. Myytävästä tuotteesta on pakollista ottaa aina näyte laboratorioanalyysiä varten, jotta sille saadaan toimituslupa. Kyse ei siis ole siitä, että näytteenotin olisi tarpeeton tai sen viat olisi jätetty huomiotta. Koska näytteenotinta koskevia vikoja, toimintahäiriöitä tai muutostarpeita ei ole havaittu, ei sitä ole tarpeen käsitellä tässä työssä tarkemmin. Näytteenotin kannattaa kuitenkin lisätä varastonimikkeeksi ja ottaa varaosaksi varastoon mahdollisten tulevien vikojen varalle.

5.21 Yleiset viat

Sellaiset viat, jotka koskevat säkityskonetta, mutta niitä ei pystytä kohdistamaan yksittäiselle alijärjestelmälle, luokitellaan yleisiksi vioiksi. Tällaisia ovat muun muassa vikailmoitukset koko säkityskonetta koskevista huoltopäivistä, turvalaitteista ja varaosista. Yleisiin vikoihin ei kuitenkaan kuulu sellaiset viat, jotka koskevat säkityksen tukitoimia tai muita itse koneeseen kuulumattomia asioita, kuten rakennuksen ilmanvaihtoa tai säkkirullien varastointia. Yleisistä vioista tehtyyn yhteenvedotaulukkoon 23 kerätyt tiedot osoittavat, että yleisistä vioista on tehty paljon vikailmoituksia ja niistä aiheutuneet kustannukset ovat suuret. Kuitenkin toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen on merkityksetön ja häiriöilmoituksia on aiheutunut vain vähän. Häiriöilmoitusten vaikutus käytettävyyteen on merkittävä.

Taulukko 23. Yhteenvedo yleisten vikojen vika- ja häiriöilmoitusten määrästä, kustannuksista sekä vaikutuksesta käytettävyyteen.

Alijärjestelmä		ST731 ja ST752			Yhteensä
Yleiset viat	Vikailmoitukset [kpl]	17	6	9	32
	Vikakustannukset [€]	23 873 €	13 786 €	12 404 €	37 659 €
	Toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen				Merkityksetön
	Häiriöilmoitukset [kpl]				7
	Häiriöiden vaikutus käytettävyyteen				0,11 %

Aiemmin oli käytäntönä pitää säkityskoneille säännöllinen huoltopäivä, jossa säkityskoneet tarkastettiin kattavasti ja havaitut puutteet korjattiin. Huoltopäivien osuus yleisten vikojen vikailmoituksista on 17 kpl ja kustannuksista 17 994 €. Huoltopäivien huono puoli on se, että niissä on lähes poikkeuksetta jäänyt kirjaamatta päivän aikana tehdyt toimenpiteet, vaikka huoltokustannuksia on kertynyt keskimäärin yli 1 000 € vikailmoitusta kohti. Näissä huoltopäivissä on yleensä tehty toimenpiteitä useammalle alijärjestelmälle, joten tehtyjä toimenpiteitä on mahdoton kohdistaa yksittäiselle alijärjestelmälle. Säännöllisistä huoltopäivistä on sittemmin luovuttu kokonaan – vikailmoitusten perusteella keväällä 2017.

Moottorisuojien laukeamisesta tulleet häiriöilmoitukset luokitellaan yleisiksi, sillä häiriöilmoituksia ei pystytä häiriöilmoituksen perusteella kohdentamaan tietyille moottorille, vaan kyse voi olla mistä tahansa sähkömoottorista. Häiriöt ovat tapahtuneet kahtena päivänä ja ne ovat tulleet peräkkäin muutaman minuutin aikana. Tämä viittaisi jonkinlaiseen yksittäiseen tuotannolliseen virhetilanteeseen, jossa esimerkiksi hihnakuuljetin ei ole

jostain syystä päässyt tilapäisesti pyörimään. Jumiutunut kuljetin on siten laukaissut suo-
jauksen. Kyseessä ei ole minkään komponentin tai toiminnon vikaantuminen, koska häi-
riöt eivät ole toistuvia ja säkitystä on päästy jatkamaan pian häiriöiden jälkeen.

Yleiseksi luokitelluista vikailmoituksista ei ole tunnistettu toistuvia vikoja, toimintahäiri-
öitä, varaosapuutteita tai muutostarpeita, eikä niitä ole tarpeen käsitellä tässä työssä
tarkemmin. Yhteen kerättynä niistä saa kuitenkin tietoa laitteeseen kohdistuvien vikojen
määrästä ja kustannuksista, joita ei ole mahdollista luokitella alijärjestelmittäin.

6. ANALYYSIN TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

Säkituskoneiden käytettävyyttä on mahdollista parantaa merkittävästi nykyisestä tasosta. Suursäkitystä koskevia kehitystarpeita on havaittu monella osa-alueella, kuten ennakkohuollossa, ohjeistuksessa, reagoinnissa vikatilanteisiin, laitteiston modifioinnissa, vikojen dokumentoinnissa, varaosissa, suorituskyvyn mittauksessa ja säkin laadussa. Investointeja tuotantonopeuden kasvattamiseksi ei kuitenkaan ole tarpeen tehdä, sillä tällä hetkellä on jo reilusti ylikapasiteettia, eikä säkitystarpeeseen ole näkyvissä suuria muutoksia. Ylikapasiteetista huolimatta monet parannukset ovat tarpeen, jotta säkituskoneet toimivat suunnitellusti silloin, kun niitä tarvitaan, viivästyksiltä vältytään ja arvokasta työaikaa ei mene hukkaan. Panostuksia toiminnan sujuvoittamiseksi, häiriöiden ja vikojen vaikutusten vähentämiseksi sekä kunnossapitotoimien tehostamiseksi kannattaa tehdä.

Jo ennen tätä työtä tehtyjen toimenpiteiden avulla jotkin tekniset viat, kuten joidenkin komponenttien toistuva hajoaminen, on saatu hyvin hallintaan. Myös merkittäviä toiminnallisia ongelmia, kuten säkin kaatuminen, on saatu poistettua. Ongelmia on kuitenkin edelleen liian paljon ajatellen, että koneen toiminnan pitäisi olla automaattista ja vaatia operaattorilta vain minimaalista apua tai parhaimmassa tapauksessa ainoastaan uuden säkkirullan vaihtamista.

6.1 Toiminnanohjausjärjestelmän data

Säkituskoneiden vikahistoriaa tutkittaessa tuli voimakkaasti esille vikahistorian analysoinnin haastavuus, sillä vikailmoitukset ovat huonolaatuisia ja niissä on liian vähän tietoa. Lisäksi vikailmoituksissa on monesti väärää tietoa, ne on tehty väärälle toimintopaikalle tai niitä ei ole tehty ollenkaan. Vikailmoitusten kirjaamisessa toiminnanohjausjärjestelmään onkin paljon parannettavaa sekä operaattoreilla, kunnossapitoasentajilla että kunnossapidon työnjohdolla. Vikailmoitusten luomiseen on olemassa selkeät ohjeet vikailmoitusten tekijöille ja kunnossapidon työnjohdolle. Ohjeet ovat hyvät ja niitä tulee noudattaa. Ohjeista kannattaa tehdä myös tiivistetty tarkastuslistatyypinen luettelo tärkeimmistä asioista, josta voi nopeasti vikailmoitusta tehdessä tarkastaa, onko kaikki tarvittavat tiedot kirjattu.

Vikojen jaottelu alijärjestelmittäin vikailmoitusten perusteella on nykyisellä toiminnanohjausjärjestelmän laiterakenteella erittäin työlästä tai jopa mahdotonta. Toimintopaikkojen

jaottelu tulee tehdä uudelleen nykyistä tarkemmin ja tarkoituksenmukaisemmin. Toimintopaikat kannattaa jakaa alijärjestelmittäin, kuten tässä työssä laitteiston käsittely on jaettu. Tällöin yksittäistä alijärjestelmää koskevia vikoja on helppo tarkastella. Lisäksi kannattaa lisätä oma toimintopaikka tukitoiminnoille, jonne tehdään ne vikailmoitukset, joissa ei ole kyse varsinaisesta säkityskoneen alijärjestelmästä. Tällöin nämä itse koneeseen liittymättömät vikailmoitukset on helppo suodattaa pois vikahistoriaa analysoitaessa. Kuvassa 28 on esitetty suositus säkityskoneiden uudesta toimintopaikkojen jaottelusta.

Laiterakenne-ehdotus
Yleinen
- Rakennus, LVIS
- Oheistarvikkeet, säkkirullien käsittely, työkalut yms.
Noutorullain
- Rullatuki
- Nauhakelain
- Kuljetin
- Säkin avauskoneisto
- Asetinlaite
Säkin oikaisin
Puhallus, imu, pölynpoisto
Vaaka
Täyttöpää
- Piippu
- Säkin pitimet
- Viikkari
Suljentakoneisto
- Nippi
- Suljenta
Nosto- ja kääntöyksikkö
- Koukku
- Pukkari
Leimauslaite
Hihnakuuljettimet
- Hihnakuuljetin 1
- Hihnakuuljetin 2
- Hihnakuuljetin 3
- Hihnakuuljetin 4
- Hihnakuuljetin X
Hydrauliikkayksikkö
Näytteenotin

Kuva 28. Suositus toiminnanohjausjärjestelmän toimintopaikkojen uudelleenjaottelusta.

6.2 Koneiden häiriöilmoitushistorian data

Koneiden omaan häiriöilmoitushistoriaan tallentuva data katoaa jostain syystä ajoittain. Tätä työtä tehdessä häiriödataa on ollut käytettävissä vain 102 päivän ajalta toiselta koneelta ja lisäksi joitain yksittäisiä lyhyitä jaksoja. Datan tallentuminen tulee varmistaa

niin, että tiedot häiriöilmoituksista säilyvät niin kauan, kuin säkityskoneet ovat tuotanto-käytössä. Tällöin häiriöilmoitusten dataa on mahdollista tarkastella vuosia taaksepäin ja tutkia pitkän ajan trendejä, mikä on tarpeen, sillä joidenkin muutosten vaikutus nähdään vasta pidemmällä aikavälillä.

Tällä hetkellä koneen havaitessa häiriön tallentuu häiriöilmoitusdataan tieto, mikä häiriö on kyseessä sekä häiriön havaitsemispäivä ja -kellonaika. Näistä tiedoista pystytään las-kemaan häiriöiden välinen kalenteriaika, mutta ei niiden välistä säkitysmäärää. Datasta ei myöskään voi päätellä, onko tuotanto ollut käynnissä koko häiriöiden välisen ajan, vai onko häiriöiden välillä ollut taukoja. Säkityskone laskee kokonaissäkitysmäärää mas-sana ja kappaleina, mutta nämä tiedot eivät tallennu muistiin. Jotta häiriöilmoitusdataa on mahdollista käyttää koneen toiminnan analysointiin, tulee muistiin kirjata enemmän tietoa. Tarvittavia erittäin hyödyllisiä tietoja ovat häiriöhetken kokonaissäkitysmäärä massana ja säkkeinä. Näiden tietojen avulla on mahdollista määrittää tuotantomäärä häiriöiden välissä, mikä on kalenteriaikaa huomattavasti kuvaavampi luku, sillä se ottaa huomioon, kuinka paljon konetta on käytetty vikojen välillä. Tällöin on mahdollista tutkia esimerkiksi, kuinka monen säkin välein asetinlaitteen säkin tunnistus epäonnistuu ja ver-tailla lukemaa ennen ja jälkeen tehtyjen modifikaatioiden. Tieto kokonaissäkitysmäärästä voidaan myös yhdistää esimerkiksi Excelin avulla toiminnanohjausjärjestelmän vikail-moituksiin. Vikailmoituksen tekoajan perusteella voidaan häiriöilmoitushistoriasta etsiä sen hetkinen kokonaissäkitysmäärä, jolloin on mahdollista laskea säkitysmäärä toimin-nanohjausjärjestelmään kirjattujen vikailmoitusten välillä. Kun dataa toistuvien vikojen vikaväleistä on tarpeeksi, on simuloimalla mahdollista selvittää, mitä vikaantumismallia kukin vikamuoto noudattaa. Kun vikaantumismalli ja keskimääräinen vikaantumisväli tunnetaan, osataan valita kuhunkin vikamuotoon parhaiten soveltuvat kunnossapitome-netelmät sekä arvioida aikataulutettujen menetelmien tehokkuutta.

Muita häiriöilmoitushistoriaan kirjattavia tarpeellisia tietoja ovat tieto käytettävästä sä-kistä, kokonaistuotantoaika sekä tieto kunkin säkityserän alkamis- ja valmistumishet-kestä. Tietoa kulloinkin käytettävästä säkistä voidaan hyödyntää tutkittaessa säkin laa-dun vaikutusta koneen toimintaa. Kokonaistuotantoaikaa mittaamalla ja kirjaamalla, on tuotantotehon seuranta mahdollista vertaamalla kokonaistuotantoaikaa kokonaissäkitys-määrään. Tällä hetkellä tuotantoteho mitataan vertaamalla säkitysmäärää kalenteriai-kaan. Mittaus tulee toteuttaa niin, että mitataan todellista tuotantoaikaa, jolloin taukoja ja muita vastaavia pysähdyksiä ei lasketa tuotantoaikaan. Säkityserän alkamis- ja valmis-tumishetkien avulla on mahdollista seurata säkityserään kuluvaan aikaan tarkasti, ja nähdä tarkalleen, milloin esimerkiksi lajike on vaihtunut. Edellä mainitut tiedot kirjaamalla ja tal-

lentamalla ei ole enää tarvetta yhdistellä esimerkiksi automaatiojärjestelmän tai tilaustenhallintajärjestelmän tietoja vika-analyyseissä, mikä tekee analysoinnista huomattavasti nopeampaa ja vaivattomampaa.

6.3 Päätelmät säkityskoneiden vioista

Toiminnanohjausjärjestelmään on tehty paljon sellaisia vikailmoituksia, joissa kyse ei ole varsinaisesti säkityskonetta koskevasta viasta. Vioista tehtyjen vikailmoitusten osuutta kaikkiin vikailmoituksiin on havainnollistettu taulukossa 24, jonka mukaan vikailmoituksista vain 63 %:ssa on kyse viasta. Vikojen kustannukset puolestaan ovat vain 47 % kaikkien vikailmoitusten kustannuksista. Tämä tarkoittaa sitä, että toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen vikailmoitusten ja kustannusten määrästä ei voi suoraan päätellä juurikaan mitään koneen vikaantumisesta, vaan lisäksi tarvitaan tieto vikailmoitusten sisällöstä. Vioista tehtyjä vikailmoituksia on kirjattu yhteensä 391 kpl.

Taulukko 24. Säkityskoneen vikailmoitukset ja vikojen osuus kaikista vikailmoituksista koko koneiden eliniän aikana.

Kustannustyyppi	Yhteensä	Per päivä	Per kk	Per vuosi	Per säkki	Per tonni
Vikailmoitusten määrä [kpl]	624	0,4	13	153		
Kaikki kustannukset	300 733 €	202 €	6 137 €	73 649 €	0,19 €	0,25 €
Varaosien osuus kaikista kustannuksista	45 320 €	30 €	925 €	11 099 €		
Kaikki kust./hankintakust.				5,3 %		
Vikailmoitukset vioista [kpl]	391	0,3	8	96		
Vikojen kustannukset	140 342 €	94 €	2 864 €	34 369 €	0,09 €	0,12 €
Vikojen kust./hankintakust.				2,5 %		
Ennakkohuoltokustannukset	41 462 €	28 €	846 €	10 154 €		
Modifikaatiokustannukset	40 713 €	27 €	831 €	9 970 €		

Kuvassa 29 on esitetty pylväsdiagrammina säkityskoneita koskevien vikojen määrä alijärjestelmittäin jaoteltuna. Vikojen jakautumista tarkastettaessa tulee muistaa, että diagrammi esittää vikojen määrän koko koneiden eliniän ajalta. Jotkin vioista on saatu hyvin hallintaan, kuten esimerkiksi paljon vikaantuneet hihnakuuljettimet ja koukku, joten tällä hetkellä viat jakautuvat eri tavalla. Diagrammi näyttää siis missä vikoja on ollut, ei sitä, missä vikoja tällä hetkellä on. Tällä hetkellä eniten kunnossapitoa vaativia vikoja aiheutuu suljennasta, leimauslaitteesta ja asetinlaitteesta.

Taulukossa 24 on vioista tehtyjen vikailmoitusten määrä (391 kpl) ja kuvassa 29 on puolestaan vikojen määrä (393 kpl). Mikäli molemmille koneille sattuneesta samasta viasta

on tehty yksi yhteinen vikailmoitus, näkyy vikailmoitus kahtena vikana kuvassa 29. Ker-
tyneet 393 vikaa tarkoittaa keskimäärin noin 8 vikaa kuukaudessa, mikä vastaa yhtä vi-
kaa viikossa kummallekin koneelle.



Kuva 29. Pylväsdiagrammi vikojen jakautumisesta alijärjestelmittain.

Toistuvat viat (152 kpl) edustavat vain noin 39 % kaikkien vikojen määrästä. Kaikkien toistuvien vikojen vaikutus käytettävyyteen on taulukon 1 mukaisesti 2,75 %. Mikäli halutaan laskea kaikkien vikojen kokonaisvaikutus käytettävyyteen, tulee tehdä karkeita arvioita. Kun ajatellaan, että jokainen satunnainen vika (241 kpl) pysäyttää tuotannon kolmeksi tunniksi (odotusaika + korjausaika), on niiden yhteisvaikutus käytettävyyteen 4,25 %. Tällöin kaikkien toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen vikojen aiheuttama epäkäytettävyys on 7,0 %. Modifikaatioita ei ole mielekäästä huomioida tässä kohdassa käytettävyyyslaskuissa, sillä ne on yleensä suunniteltu tuotantoa haittaamattomasti esimerkiksi vuosihuollon yhteyteen. Tässä työssä käsiteltyjen häiriöilmoitusten (96 % kaikista häiriöilmoituksista) yhteisvaikutus käytettävyyteen on taulukon 2 mukaisesti 7,96 %. Tämä tarkoittaa, että kaikkien häiriöiden ja toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen vikojen yhteensä aiheuttama epäkäytettävyys on karkeasti arvioiden noin 15 %.

6.4 Päätelmät vikojen kustannuksista

Toiminnanohjausjärjestelmässä näkyvät kustannukset koostuvat vikailmoituksille kirjattujen tietojen perusteella, eli väärin kirjatut kustannukset aiheuttavat virhettä kustannus-

ten jakautumisessa. Kustannukset sisältävät omien kunnossapitoasentajien laskennallisen tuntihinnan, varaosa- ja materiaalikustannukset sekä ulkopuolisten yritysten käytöstä aiheutuneet kustannukset. Talousjohtajan mukaan kunnossapitoasentajien tuntihinta sisältää palkkojen lisäksi kaikki sivukulut, kuten koulutus- ja matkustuskulut, työkalut ja muut kiinteät kustannukset. Työnjohdon kustannukset ja vyörytettävät kustannukset eivät tuntihintaan sisälly. Varaosien kustannukset määräytyvät varastoarvon mukaan, joka saattaa poiketa oleellisesti tuotteen hankintahinnasta. Ulkopuolisten yritysten kustannukset määräytyvät heille maksettujen laskujen perusteella. Toiminnanohjausjärjestelmän kustannuksissa ei näy tuotannonmenetyksistä tai operaattoreiden tekemästä kunnossapidosta aiheutuneita kustannuksia. Näiden tekijöiden vuoksi vioista aiheutuneet kustannukset eivät vastaa tarkasti totuutta, mutta ovat kuitenkin suuntaa-antavia ja paras saatavilla oleva mittari kunnossapitokustannusten arviointiin.

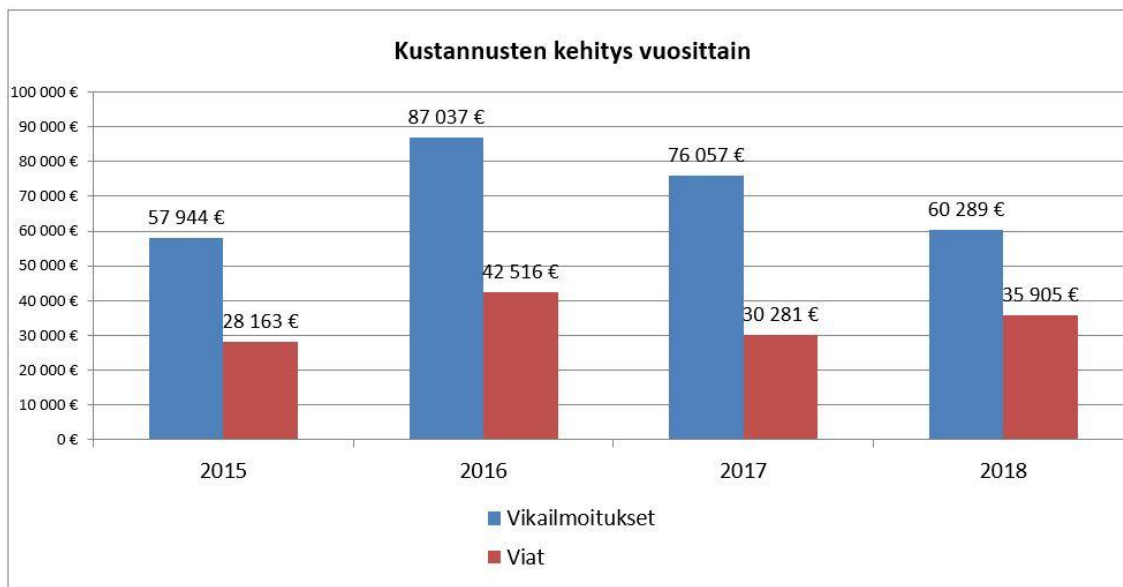
Kuvassa 30 on esitetty pylväsdiagrammina vioista aiheutuneiden toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen kustannusten jakautuminen alijärjestelmittäin jaoteltuna. Samoin kuin vikojen jakautumista, myös kustannusten jakautumista tarkasteltaessa tulee muistaa, että diagrammi esittää kustannusten määrän koko koneiden eliniän ajalta. Jotkin vioista on saatu hyvin hallintaan, kuten esimerkiksi paljon vikaantuneet hihnakuljettimet ja koukku, joten tällä hetkellä kustannukset jakautuvat eri tavalla. Tällä hetkellä siis eniten vikakustannuksia aiheutuu leimauslaitteesta, suljennasta ja asetinlaitteesta.



Kuva 30. Vioista aiheutuneiden kustannusten jaottelu alijärjestelmittäin.

Vuosittaiset kunnossapitokustannukset on esitetty kuvassa 31. Pylväsdiagrammin siniiset palkit kuvastavat kaikkien vikailmoitusten kustannuksia ja punaiset säkityskoneiden

vikojen kustannuksia. Neljä vuotta on lyhyt aika tehdä kustannusten kehityksestä johtopäätöksiä, mutta ainakaan tällä hetkellä selkeää trendiä ei ole havaittavissa.



Kuva 31. Säkityskoneiden vuosittaiset kustannukset. Sinisellä kaikkien vikailmoitusten kustannukset ja punaisella säkityskoneen vikojen kustannukset.

Taulukon 24 perusteella vuotuisten vioista aiheutuneiden kunnossapitokustannusten suhde koneiden jälleenhankinta-arvoon (JHA:na on käytetty koneiden hankintahintaa vuonna 2014) on 2,51 %. Kun lukuun otetaan mukaan ennakko- ja modifikaatiot, nousee luku 3,95 prosenttiin. Mikkonen (2009, s. 40) esittää kunnossapitokustannusten suhteen jälleenhankinta-arvoon olevan Suomen teollisuudessa keskimäärin 3,2 % ja Järviön ja Lehtiön (2017, s. 146) mukaan luku vaihtelee 2–6 prosentin välillä. Näiden perusteella säkityskoneiden kunnossapitokustannukset eivät ole poikkeuksellisen suuret jälleenhankinta-arvoon suhteutettuna. Tosin näin uudessa sekä turvallisuuden ja ympäristön kannalta ei-kriittisessä koneessa kustannusten tulee olla kriittisempiä ja vanhempia laitteistoja pienemmät.

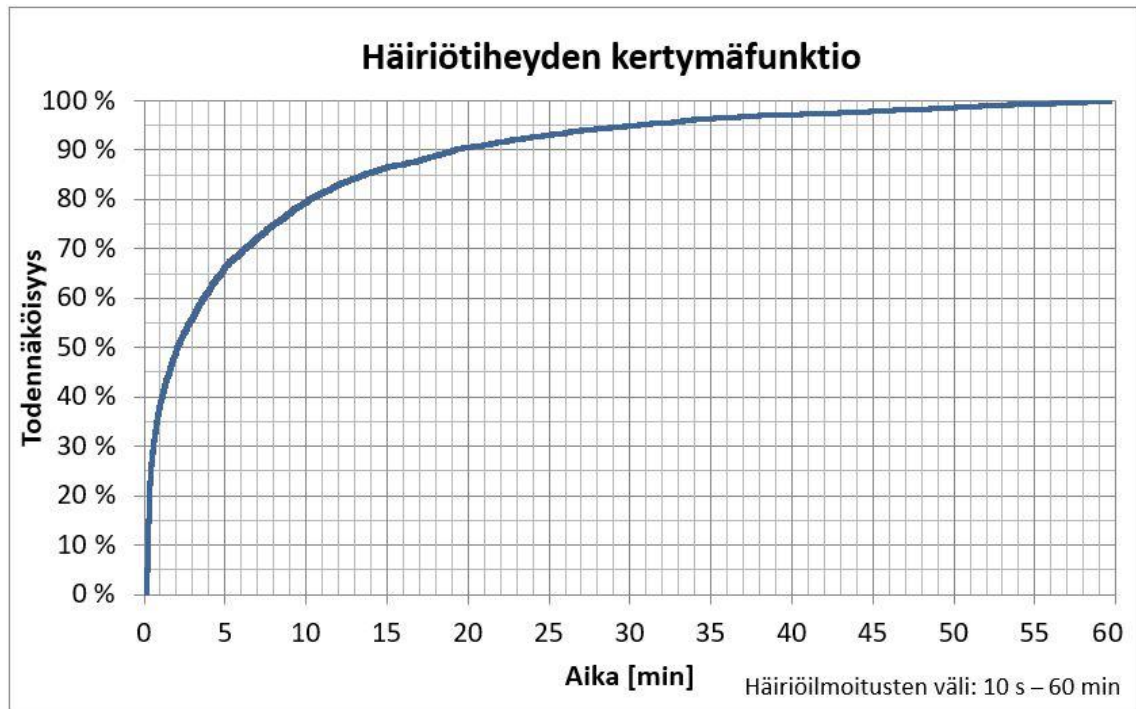
Vertailtaessa kunnossapitokustannuksia kirjallisuuteen ja toisiin yrityksiin tulee johtopäätöksiä tehdä varoen, sillä yritykset sekä niiden käyttämät koneet vaihtelevat paljon. Joillekin koneille kannattaa suorittaa kunnossapitoa kevyemmin, jos sen vikaantumisen seuraukset eivät ole vakavat. Toisen koneen kunnossapitoon taas kannattaa panostaa enemmän, jotta vältetään kalliilta vioilta, tuotantokatkoilta ja onnettomuuksilta. Myös laitteiston käyttöaste on huomioitava, sillä vähällä käytöllä oleva kone kuluu vähemmän ja toisaalta pienellä käyttöasteella olevaa konetta ei kannata huoltaa yhtä paljon kuin maksimikapasiteetillä toimivaa konetta, sillä sen tuotannolliset seuraukset eivät yleensä ole niin kriittisiä. Myös kustannusten laskentatapa voi vaihdella merkittävästikin yritysten välillä, ja laskennassa saattaa olla virheitä. Kohdeyrityksessä tunnusluku ei ota huomioon

tuotannonmenetyksiä, eikä käyttäjien tekemää kunnossapitoa. Paremmiin kunnossapitokustannusten vertailu jälleenhankinta-arvoon toimii vertailtaessa lukuja saman yrityksen sisällä, esimerkiksi muilla yrityksen toimipaikoilla käytettävien säkityskoneiden välillä.

6.5 Päätelmät säkityskoneiden häiriöistä

Koneen pysäyttävien häiriöilmoitusten määrä kuvaa koneen luotettavuutta. Koneen pysäyttäviä häiriöilmoituksia mittausjaksolla on tullut yhteensä 9 435 kpl. Kun tästä suodetaan alle 10 sekunnin ja yli tunnin välein tulleet häiriöilmoitukset pois, jää häiriöilmoituksia jäljelle 4096 kpl. Alle 10 sekunnin häiriöväleissä on todennäköisesti tullut useampi häiriöilmoitus samasta pysähdyksestä ja yli tunnin häiriöväleissä säkitys on todennäköisesti ollut tarkoituksellisesti tauolla. Siten tarkasteltaessa häiriöilmoituksia, joiden välinen aika on 10 s–1 h, saadaan totuudenmukaisin kuva koneen toiminnasta.

4096 häiriöilmoitusta tarkastelujaksolla tarkoittaa noin 6,9 häiriötä säkitystuntia kohden. Kone pysähtyy siis keskimäärin noin 8,7 minuutin välein. Pysähdysvälin mediaani on kuitenkin vain 2,1 minuuttia. Häiriöilmoituksen ilmaantuessa vaaditaan lähes poikkeuksetta operaattori vähintään kuittaamaan vian, jotta säkitys voi jatkuu. Useimmissa tapauksissa operaattorilta vaaditaan myös muita toimenpiteitä. Häiriötiheyden kertymäfunktiossa kuvassa 32 on esitetty koneen pysäyttävän häiriön todennäköisyys ajan funktiona. Kuvaajasta voidaan lukea esimerkiksi, että kone pysähtyy 50 %:n todennäköisyydellä alle noin 2 minuutin välein, 80% todennäköisyydellä alle noin 10 minuutin välein ja 95 %:n todennäköisyydellä alle noin 30 minuutin välein.



Kuva 32. Häiriötiheyden kertymäfunktio kuvaa koneen toimintavarmuutta. Kuvaajan perusteella säkityskoneeseen tulee todella usein tuotannon pysähdyksen aiheuttava häiriö.

Kuvan 32 perusteella koneen toimintavarmuus on todella huono, eikä kone vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Laitetoimittajan tilausvahvistuksessa oleva maininta siitä, että tarvetta mekaanisille säädöille tai asetuksille, joihin tarvitaan operaattoria, ei pitäisi esiintyä ollenkaan tai vain todella vähän, ei toteudu. Erittäin korkea häiriötiheys selittää pitkälti operaattorien turhautumisen ja sen, että kone mielletään huonoksi. Korkea vikatiheys tarkoittaa myös sitä, että operaattori ei voi jättää konetta valvomatta, eikä tehdä muitakaan hyödyllisiä asioita säkityksen aikana. Jos koneen häiriötiheys olisi huomattavasti nykyistä matalampi, on säkitystä esimerkiksi mahdollista tehdä kahden henkilön voimin tauotta. Tällöin pitämällä tauot eri aikaan, voi toinen operaattori noutaa valmiita säkkeitä hihnalta ja toinen operaattori voi olla tauolla tuotannon silti ollessa käynnissä. Tällä hetkellä tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä kone pysähtyy lähes varmasti tauon aikana, joten operaattorit pitävät tauot samanaikaisesti ja tuotanto keskeytyy aina tauon ajaksi.

Taulukossa 2 esitetyistä häiriöilmoituksista jokaiseen neljään eniten käytettävyyttä alentavaan häiriöön vaikuttaa säkin laatu. Tästä voidaan päätellä, että käytettävyyden parantamiseksi kannattaa joko tavoitella parempaa säkin laatua tai kehittää laitteistoa sietämään säkin laadunvaihteluja. Todennäköisesti kannattaa panostaa molempiin. Nämä neljä häiriöilmoitusta aiheutuvat kuljettimesta, säkin avauskoneistosta, asetinlaitteesta,

säkin pitimistä ja koudusta. Laitteiston kehittämiseksi tarvittavia modifikaatioita on listattu aliluvussa 6.6.

6.6 Yhteenveto parannusehdotuksista ja jatkotutkimusehdotuksista

Nykyinen kunnossapitoasentajille laadittu ennakkohuolto-/tarkastuslista on liian yleispätevä ja laaja. Siinä lyhyesti kuvattuna kehoitetaan tarkastamaan kaikkien laitteiden kaikki osat ja toiminnot. Ennakkohuoltoja varten tulee laatia lista niistä tehtävistä, jotka ovat tehokkaita, tarkoituksenmukaisia ja käytettävyyssnäkökulmasta kriittisiä. Ennakkohuoltovälinä kannattaa aluksi käyttää nykyistä kahta kuukautta ja muuttaa välin pituutta myöhemmin, mikäli se arvioidaan tarpeelliseksi. Kahdesti vuodessa tehtävistä rasvauksista laadittu rasvauskierroslista sen sijaan on riittävän yksityiskohtainen ja selkeä. Siinä on kerrottu rasvauskohteet, tarvittava voiteluaine sekä voiteluaineen määrä. Myös rasvauskierroslista kannattaa käydä huolella läpi ja päivittää se tarvittavilta osin, jotta kaikki rasvausta tarvitsevat kohteet on huomioitu. Ennakkohuoltolistoja päivitettäessä kannattaa tehdä yhteistyötä ja käyttää apuna kunnossapitoasentajien kokemusta, operaattorien kokemusta, laitevalmistajan henkilökuntaa, koneiden mukana tulleita huolto-ohjeita sekä tätä diplomityötä.

Joidenkin toistuvien vikojen korjaustoimenpiteet kannattaa siirtää operaattorien vastuulle. Operaattoreille laaditaan ohjeet tiettyjen komponenttien vaihto- tai vaurioitilanteiden varalle. Kun operaattorit suorittavat itse yksinkertaiset ja usein toistuvat kunnossapitotyöt, vioista aiheutuva seisokkiaika pienenee huomattavasti, kun korjausta edeltävä odotusaika poistuu lähes kokonaan. Kunnossapito tekee töitä päivävuorossa, joten varsinkin ilta- ja yöaikaan sekä vapaapäivinä odotusaika korjausten alkamiseksi on usein pitkä. Kunnossapitoasentajien ei myöskään tarvitse tällöin keskeyttää muita tärkeitä töitä sellaisten vikojen vuoksi, joista tuotannon pysähtymisen seurauksena toimettomaksi jäävät operaattoritkin selviävät hyvin. Kunnossapitoasentajilla on akuutin osien vaihdon jälkeen reilusti aikaa kunnostaa tai huoltaa vaihdetut osat suunnitelmallisesti.

Operaattorien on tarpeen pitää kirjaa tekemistään huolloista ja pienistä korjauksista, jotta nämä toimenpiteet tulee dokumentoitua. Myös tehdyistä puhdistuksista ja tukoksista on hyvä kirjata tärkeimmät tiedot ylös, jotta niihin kuluva aika voidaan mitata ja puhdistustarpeen välin muutoksia seurata. Tarpeellisia tietoja ovat myös tarkka aika sekä kokonaissäkitysmäärä datan analysoinnin helpottamiseksi. Lisäksi operaattoreille on tarpeen laatia tehtävälista, jossa on määritetty ennen säkityksen alkamista tarkastettavat tärkeimmät, koneen toimintaan vaikuttavat kohteet. Esimerkiksi tiettyjen komponenttien

kuluneisuus ja puhtaus. Tarkastukseen ei tule kulua muutamaa minuuttia kauempaa, mikäli kaikki on kunnossa, ja silti siinä tulee havaituksi tavanomaisimmat ongelmienaiheuttajat.

Säkin laadulla on havaittu olevan suuri vaikutus koneen toimintaan ja käytettävyyteen useassa säkitysprosessin vaiheessa, kuten säkin aukirullauksessa, säkin avauksessa, säkintunnistuksessa asetinlaitteella ja piipulla sekä säkin nostossa. Säkin laadunvaihtelua tulee pyrkiä vähentämään ja ongelmaksi koetut ominaisuudet ja valmistusvirheet poistamaan. Säkin laatuongelmien osoittaminen vaatii systemaattista ja uskottavaa säkkilaadun seurantaa. Säkistä aiheutuvien ongelmien tunnistamisessa on erittäin hyödyllistä, jos säkkirullien suoriutumista voidaan seurata säkkirullakohtaisesti säkkirullan yksilöivän tunnisteen avulla, esimerkiksi skannaamalla käytettävän säkkirullan tiedot viivakoodista säkityskoneeseen. Säkkilaadun vaikutusta koneen häiriöihin on sitten mahdollista seurata yhdistämällä tieto säkkirullasta koneen häiriödataan. Datan avulla voidaan osoittaa, mikä vaikutus huonolaatuisella säkkirullalla on häiriöiheyteen ja mihin häiriöihin sillä on vaikutusta. Tällöin säkin valmistajalle on mahdollista reklamoida heti ongelmien ilmettyä ja ongelmat saadaan kohdistettua luotettavasti tietyille säkkirullalle tai säkkirullaerälle. Toisaalta datasta selviää myös, millä säkeillä kone toimii hyvin ja mitä säkkejä kannattaa käyttää.

Listaus parannusehdotuksista

Kaikkien parannusehdotusten kustannukset eivät ole tässä vaiheessa selvillä, joten niiden selvittyä kunkin ehdotetun toimenpiteen potentiaalisia hyötyjä kannattaa arvioida niistä aiheutuviin kustannuksiin nähden ja toteuttaa kannattavaksi todetut toimenpiteet. Alla on listattuna tärkeimpiä tässä työssä tunnistettuja käytettävyyden parantamiseksi tehtäviä toimenpiteitä. Tarkempi kuvaus parannusehdotuksista on luvussa 5 sekä RCM-päätöslomakkeessa liitteessä 3.

- Säkkien laadun parantaminen
- Laitteiston modifiointi, kuten:
 - Säkkirullanosturin kapasiteetin pienentäminen
 - Kuljettimeen säkkiä painava pyörä ja sivuohjurit
 - Säkin avauskoneiston imutehon kasvattaminen
 - Asetinlaitteen ja säkin pitimien säkintunnistuksen kehitys luotettavammaksi ja säkkilaadusta riippumattommaksi
 - Nipin sylinterien takapäädyn kiinnikkeen vahvistaminen

- Koukun pyöriykselle mekaanisten pysäyttimien lisääminen
- Leimauslaitteen kirjoittimien kiinnitysten uudelleensuunnittelu
- Laitteiston ohjelmamuutokset ja optimointi, kuten:
 - Noutorullaimen kuljettimen pysähdysten tarkentaminen säätöjä optimoimalla
 - Käsiäjön ohjelmointimuutokset yhteentörmäysten välttämiseksi asetinlaitteelle, piipulle, säkin pitimille, viikkareille ja nipille
- Havaittujen vikojen selvittäminen ja korjaaminen, kuten:
 - ST752:n noutorullaimen kuljettimen satunnainen pätkiminen
 - ST752:n viikkarin satunnainen toimintavirhe
 - ST752:n horisontaalsiirron satunnainen toimintavirhe ja pysäytinten sijainti
 - Leimauslaitteen laakerin ja vaimennusmekanismien uudelleensuunnittelutarpeen arviointi ja tarvittaessa uudelleensuunnittelu
- Työohjeiden tekeminen, kuten:
 - Kriittisten kohteiden tarkastus- ja puhdistuslista operaattoreille
 - Tarkoituksenmukainen tarkastus- ja ennakkohuoltolista kunnossapitoasentajille
 - Ohjeet operaattorien tekemille kunnossapitotöille, kuten saumausleukojen ja kitasuojien vaihtoon
- Tarpeelliseksi tunnistettujen varaosien lisääminen omaan varastoon, joista tärkeimmät ovat hihnakuljettimien hihnat, varasaumausleuat, säkintunnistustallat ja kitasuojat.

Listaus jatkotutkimusehdotuksista

Koneen vikaantumista ja toimintaa kannattaa analysoida uudelleen, kun kannattavaksi todetut parannusehdotukset on toteutettu ja niistä on saatu riittävästi kokemuksia. Muutetun koneen analyysissä selviää, onko mielekäästä pyrkiä parantamaan koneen suorituskykyä edelleen, vai ollaanko jo tyytyväisiä saavutettuun tilanteeseen. Toki jokaisen muutoksen vaikutukset tulee arvioida erikseen ja mahdollisista haitallisiksi todetuista muutoksista tulee luopua. Alla on listattuna tärkeimpiä tässä työssä tunnistettuja jatkotutkimuskohteita. Jatkotutkimuskohteet on kuvattu tarkemmin luvussa 5 sekä RCM-päätyöslomakkeessa liitteessä 3.

- Laitteiston modifiointi, kuten:
 - Kitasuojien suunnittelu iskunkestäviksi ja valmistus 3D-tulosteena
 - Kuljettimen toiminnan jatko-optimointi ja tarvittaessa moottorin vaihto jarrulliseen malliin
 - Säkin avauskoneiston imuavauksen kehitys sietämään myös huonoa säkkilaatua
 - Avausvarren liikeradan riittävyyden tutkiminen ja liikeradan kasvattaminen tarvittaessa
 - Asetinlaitteen ja säkin pitimien säkintunnistustallojen muodon optimointi ja valmistus 3D-tulosteena
 - Kiertyneen säkin mukaan automaattisesti pyörivä koukku säkinnostovirheiden vähentämiseksi
 - Leimauksen ja suljennan onnistumista tarkkailevat laitteistot
 - Suljentalaitteiston luotettavuuden parantaminen
- Asetinlaitteen ja säkin pitimien säkintunnistuksen jatkokehitys. Tunnistusten poiskytkentämahdollisuuden ja tunnistushetken säätömahdollisuuden lisääminen.

7. YHTEENVETO

Tässä työssä käsiteltiin kahden raemaista lannoitetta suursäkkeihin pakkaavan automaattisen säkityslinjan eli säkityskoneen vikaantumista ja toimintaongelmia sekä näiden vaikutusta koneiden käytettävyyteen. Työssä tutkittiin, mitkä ovat merkittävimmät koneen suorituskykyä alentavat tekijät ja etsittiin keinoja vikaantumisten haittojen vähentämiseksi ja koneen toiminnan parantamiseksi. Lisäksi tarkasteltiin, miten koneen suorituskyvyn mittausta kannattaa jatkossa toteuttaa ja mitä kustannuksia vioista kullekin alijärjestelmälle on aiheutunut sekä miten kustannukset ovat ajan myötä kehittyneet.

Koneille asetettujen vaatimusten mukaan koneiden tulee tarvita korkeintaan minimaalista operaattorin osallistumista prosessiin, mutta käytännössä operaattorin jatkuva osallistuminen on välttämätöntä. Työn tulokset osoittivat, että toimintahäiriöitä tulee todella usein, eikä koneiden toimintaan suotta olla yleisesti tyytymättömiä. Myös moniin vikoihin varautumisessa ja niiden ennaltaehkäisyssä tunnistettiin puutteita. Koneiden vikahistorian tutkiminen ja suorituskyvyn määrittäminen oli haastavaa, sillä koneista kerätty data oli monilta osin puutteellista ja vaikeasti käsiteltävää. Työssä tarvittavien tietojen selvittämiseksi eri järjestelmiin kerättyä dataa oli tarpeen yhdistellä manuaalisesti ja sitä oli täydennettävä useilla haastatteluilla. Haastattelujen avulla tunnistettiin myös sellaiset vikahistoriassa näkyvät ongelmat, jotka oli jo aikaisemmilla toimenpiteillä saatu hallintaan.

Työssä selvisi, millaisia ongelmia kussakin prosessin vaiheissa esiintyy sekä mitkä vaiheet ovat ongelmallisimpia käytettävyyden kannalta. Ongelmallisimmiksi aliyksiköiksi osoittautuivat noutorullaimen kuljetin, säkin avauskoneisto sekä asetinlaite. Nämä aiheuttavat yhdessä noin 40 % koneiden toimintahäiriöiden ja toistuvien vikojen aiheuttamasta epäkäytettävyydestä. Näiden aliyksiköiden ongelmille ei löytynyt selkeää aiheuttajaa eli juurisyitä, joten niitä tarkasteltiin yksityiskohtaisemmin RCM-analyysin avulla. RCM-analyysin tuloksena tunnistettiin muun muassa tehokkaat kunnossapitomenetelmät, modifiointitarpeet, varautumistarpeet vikatilanteisiin sekä jatkotutkimuskohteet. Muu laitteisto käsiteltiin RCM-prosessia kevyemmin, ja niistäkin löytyi runsaasti vastavia kehityskohteita.

Vaikka osittain hyvin heikkolaatuista dataa on tuettu ja täydennetty haastatteluilla, on tuloksissa joitakin epävarmuustekijöitä. Vikojen ja häiriöiden vaikutukset käytettävyyteen ovat suuntaa-antavia arvioita, eikä niiden tarkkoja lukuarvoja ole mahdollista määrittää. Tulokset soveltuvat kuitenkin vikojen ja häiriöiden keskinäiseen vertailuun, ja niistä on

onnistuttu tunnistamaan eniten käytettävyyttä alentavat alijärjestelmät. Käytettävyyssvaikutuksen perusteella tiedetään, mihin ongelmiin kannattaa kohdistaa voimavaroja ja millaisia parannuksia niiden ratkaisemisella on mahdollista saada aikaan. Kokonaisuutta tarkasteltaessa voidaan todeta, että koneiden käytettävyyttä on mahdollista parantaa merkittävästi. Työssä on myös annettu parannusehdotuksia datan keräyksen ja kirjauksen toteuttamiseksi, jotta datan analysointi on jatkossa helpompaa ja analyysin tulokset luotettavampia.

Työtä voidaan pitää onnistuneena ja hyödyllisenä sekä kohdeyritykselle että laitevalmistajalle. Siinä on säkityskoneista paljon arvokasta tietoa, jota käyttö- ja kunnossapitohenkilöstö sekä laitevalmistaja voivat hyödyntää. Tämän työn tuloksia kannattaa hyödyntää myös muilla yrityksen toimipaikoilla, joissa vastaavia suursäkityslaitteistoja on käytössä tai sellaisen hankkimista suunnitellaan. Tämän työn menetelmien avulla on mahdollista tutkia myös muiden yrityksen laitteistojen toimintaa, vikaantumista, määrittää vikojen ja toimintahäiriöiden vaikutus käytettävyyteen sekä määrittää niille soveltuvimmat kunnossapitomenetelmät ja mahdolliset kehitystarpeet.

LÄHTEET

Abid, M., Ayub, S., Wali, H. & Tariq, M. (2014). Reliability Centered Maintenance Plan for the Utility Section of a Fertilizer Industry: A Case Study. *International Journal of Science and Advanced Technology*. Vol.4(3), pp. 9–16.

Allen, T.M. (2001). U.S. Navy Analysis of Submarine Maintenance Data and the Development of Age and Reliability Profiles. Portsmouth New Hampshire, USA: Department of the Navy SUBMEPP 15 p.

Erkomat. (2014). Laitteiston piirustukset. Erkomat Oy.

Hagberg, L. (1998). Keep it running: industrial asset management. Loviisa: Scandinavian Center for Maintenance Management Finland ry & Management Systems Oy. 198 p.

Järviö, J. & Lehtiö T. (2017). Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. painos. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry. 292 s.

Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T. & Åström, T. (2007). Kunnossapito. 4. painos. Helsinki: KP-Media Oy. 283 s.

Kauppalehti. Yara Suomi Oy. Alma Talent Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.9.2019): <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/yara+suomi+oy/0948865-5>.

Kivistö-Rahnasto, J. & Vuori, M. (2000). Tuotteen turvallisuuden varmistamisen työkalupakki. VTT Teknologian tutkimuskeskus. 50 s.

Liikennevirasto. (2011). Ohje riskienhallinnan menetelmistä. 44 s.

Markets Insider. Financials Yara International ASA. Insider Inc. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.9.2019): <https://markets.businessinsider.com/stocks/yara/financials>.

Mc Leod, J., Baziuk, P., Calvo, R. & Rivera, S. (2015). Failure Profiles for Maintenance in Industrial Facilities. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. Vol. 2, 6 p.

Mikkonen, H. (2009). Kuntoon perustuva kunnossapito: käsikirja. Helsinki: KP-Media Oy. 606 s.

Moubray, J. (1997). Reliability-centered Maintenance. 2nd ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. 426 p.

Nowlan, F.S. & Heap, H.F. (1978). Reliability-centered maintenance. San Francisco California, USA: United Airlines. 476 p.

PSK 6201. (2011). Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys. Helsinki. 30 s.

PSK 7501. (2010). Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. PSK Standardisointiyhdistys. Helsinki. 32 s.

Ramentor. Trainings for RAMS methods. Ramentor Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.10.2019): <http://www.ramentor.com/trainings/>.

Reuters. (2010) Timeline: Fertilizer maker Yara's ambitious expansion. Thomson Reuters Corp. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.9.2019): <https://www.reuters.com/article/us-yara-timeline/timeline-fertilizer-maker-yaras-ambitious-expansion-idUSTRE61E3H220100216>.

SFS-EN 13306. (2010). Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki. 54 s.

SFS-EN 13306. (2017). Maintenance. Maintenance terminology. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki. 94 s.

Wiseman, M. (2011). Real meaning of the six RCM curves. LivingReliability Inc. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.10.2019): <https://www.livingreliability.com/en/posts/real-meaning-of-the-six-rcm-curves/>.

Yara International. Our main shareholders. Yara International ASA. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.9.2019): <https://www.yara.com/investor-relations/share-and-debt-information/shareholders/>.

Yara International. Yara at a glance. Yara International ASA. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.9.2019): <https://www.yara.com/this-is-yara/yara-at-a-glance/>.

Yara Suomi. Yara Suomi. Yara Suomi Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.9.2019): <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/>.

Yara Suomi. Yara Uusikaupunki. Yara Suomi Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.9.2019): <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/yara-suomi/toimipaikat/uusikaupunki/tehtaat/>.

LIITTEET

Liite 1: Vikapuuanalyysi säkityskoneista ST731 ja ST752

Liite 2: Vika- ja vaikutusanalyysi säkityskoneista ST731 ja ST752

Liite 3: RCM-päätöslomake säkityskoneista ST731 ja ST752